版权相关注意事项：
1、书籍版权归著者和出版社所有
2、本PDF来自于各个广泛的信息平台，经过整理而成
3、本PDF仅限用于非商业用途或者个人交流研究学习使用
4、本PDF获得者不得在互联网上以任何目的进行传播
5、如果觉得书籍内容很赞，请一定购买正版实体书，多多支持编写高质量的图书的作者和相应的出版社！当然，如果图书内容不堪入目，质量低下，你也可以选择狠狠滴撕裂本PDF
6、技术类书籍是拿来获取知识的，不是拿来收藏的，你得到了书籍不意味着你得到了知识，所以请不要得到书籍后就觉得沾沾自喜，要经常翻阅！！经常翻阅
7、请于下载PDF后24小时内研究使用并删掉本PDF

仅供非商业用途或交流学习使用

Make:

DIY Drone and Quadcopter Projects

爱上无人机：

原理结构、航拍操控与DIY实例精汇



[美] Make杂志编辑 编

陈立畅 张睿 张佳进 高泉 李顺琴 译

中国工信出版集团

人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS

仅供非商业用途或交流学习使用

MAKER MEDIA
SEBASTOPOL, CA

Make: DIY Drone and Quadcopter Projects

爱上无人机：原理结构、航拍操控与DIY实例精汇

[美] Make杂志编辑 编
陈立畅 张睿 张佳进 高泉 李顺琴 译

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

仅供非商业用途或交流学习使用

图书在版编目（CIP）数据

爱上无人机 ：原理结构、航拍操控与DIY实例精汇 / 美国Make杂志编辑编 ；陈立畅等译. -- 北京 ：人民邮电出版社，2017.7
（i创客）
ISBN 978-7-115-45832-2

Ⅰ. ①爱… Ⅱ. ①美… ②陈… Ⅲ. ①无人驾驶飞机—案例 Ⅳ. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第130557号

版权声明

©2017 year of first publication of the Translation Posts & Telecom Press.
Authorized Simplified Chinese translation of the English edition of Make: DIY Drone and Quadcopter Projects (ISBN 9781680451290) ©2016 Maker Media, Inc. published by O'Reilly Media, Inc.
This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.
本书英文版版权归 Maker Media,Inc.所有，由 O'Reilly Media,Inc. 于 2016 年出版。简体中文版通过 O'Reilly Media,Inc. 授权给人民邮电出版社，于 2017 年出版发行，得到原出版方授权。版权所有，未经书面许可，本书的任何部分不得以任何形式重制。

内 容 提 要

本书内容是从《Make（爱上制作）》杂志中精选出来的最受欢迎的无人机设计实例，可以为入门级爱好者提供很好的创意性启发。本书将向读者提供多款时下流行的四轴飞行器、无人机的制作实例，给出每个实例的用材、设计方案、制作步骤、编程技巧、操作方法，是无人机爱好者、创客们很好的参考性图书。

◆ 编　　[美] Make 杂志编辑
译　　陈立畅　张　睿　张佳进　高　泉　李顺琴
责任编辑　魏勇俊
责任印制　周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京缤索印刷有限公司印刷

◆ 开本：800×1000　1/16
印张：6.25　　2017 年 7 月第 1 版
字数：184 千字　　2017 年 7 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号　图字：01-2016-10081 号

定价：59.00 元

读者服务热线：(010)81055339　印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315
广告经营许可证：京东工商广登字 20170147 号

仅供非商业用途或交流学习使用

目 录

PART 01 特点 1

理解无人机 3

从多轴飞行器开始 5

- 产品历史 5
- 工作原理 5
- 你的第一个多轴飞行器 6
- 制造属于你自己的多轴飞行器 6
 - 电池与电机 6
 - 电子速度控制器和控制主板 6
 - 机身和远程控制装置 7
- 使用多轴飞行器录制视频 7
 - 平衡环和陀螺仪 7
 - 相机和视频向地传输 8
- 走向远方：无人多轴飞行器 8

无人机的具体结构 11

- 标准螺旋桨 11
- “推进式”螺旋桨 11
- 电机 11
- 电机底座 11
- 起落装置与吊杆 11
- 吊杆 11
- 主机体 12
- 电子速度控制器（ESC） 12
- 飞行控制器 12
- GPS 模块 12
- 接收器 12
- 天线 13
- 电池 13
- 电池组件 13
- 平衡环 13
- 陀螺电机 13
- 平衡控制器 13
- 相机 13

用无人机为遭受战争困扰的叙利亚投递食物与药品 15

- 多尽一份力 15
- 复杂性 15
- 获取无人机起飞准许 15
- 一个志愿者团队 15
- 开辟新天地 20
- 开放资源 20
- 无人机可以更多地用于人道救助 21

四轴飞行器 25

- 用 APM 完成从 0~60 的加速 25
- 建造世界上最坚固的无人机 26
- 作为空中接入点的无人机 27
 - 控制 27
 - 遥测技术 27
 - 视频 27

Part 02 指导 29

从航拍视频起步 31

- 选择合适的 UAV 31
- 选择合适的相机 32
- 固定相机 32
 - 平衡环与飞行运功 32
 - 螺旋桨的振动和“果冻效应” 32
- 装入第一视角系统 34
- 练习，练习，还是练习！
- 重要的事情说三遍！ 34

四轴飞行器的摄影制图 37

FPV 基础入门 41

- 相机 41
- 安装相机 41
- 地面接收站 41

仅供非商业用途或交流学习使用

频率.....41
电源.....42
天线.....42
屏幕菜单.....42
视频显示.....43

飞行守则.....45

Part 03 计划.....47

“傻瓜飞行器”.....49
第一步：将支撑臂剪切为合适的长度...50
第二步：修剪左右侧支撑臂.....50
第三步：加固支撑臂.....51
第四步：粘连支撑臂.....51
第五步：安装电机.....52
第六步：安装中心组件.....52
第七部：飞行电子元器件.....52
第八步：添加灯光.....53
第九步：飞行测试以及更多内容.....54

手工版 UAV.....57
材料.....57
工具.....58
第一步：制作机身.....59
第二步：制作支撑臂.....59
第三步：组装机身.....60
第四步：给电源集线器安装线路.....60
第五步：为电机轴承留出位置.....61
第六步：安装电机.....62
第七步：安装着陆装置.....62
第八步：安装防振装置.....63
第九步：安装相机 / 电池底座.....63
第十步：安装相机与电池.....64
第十一步：安装航空电子设备.....65
第十二步：安装平衡控制器.....66
第十三步：安装软件.....67
第十四步：安装螺旋桨.....67
初次飞行.....68
结语.....68

WAVEcopter：一个防水的四轴飞行器.....71
第一步：准备集线器.....72
第二步：准备转动臂.....72
第三步：制作电机底座.....73
第四步：安装电源零件.....74
第五步：安装飞行控制器.....75
第六步：准备电池.....76
第七步：安装 GPS 定位器.....76
第八步：安装起落架和浮筒.....77
第九步：飞行检查和校准.....77
第十步：最终检查和密封.....78

关于无人机和遥控飞机的货箱和投放装置.....81
零件 / 工具.....82
第一步：建造货箱.....83
第二步：安装螺栓配件.....83
第三步：制作固定架.....84
第四步：安装前部支柱.....84
第五步：修改机身.....85
第六步：安装前部支柱.....85
第七步：安装橡皮绳和货箱.....86
第八步：将货箱固定.....86

建造你的第一架三轴飞行器.....89
为什么要使用三轴飞行器.....89
一架给 Maker 的三轴飞行器.....89
零件.....89
工具.....90
规格.....90
第一步：打磨和喷漆.....91
第二步：安装铰链式机尾.....91
第三步：安装铰链式机尾（续）.....91
第四步：安装前部支撑臂.....92
第五步：安装前部支撑臂（续）.....92
第六步：准备机身甲板.....93
第七步：安装 ESC.....93
第八步：安装支撑臂.....94
第九步：安装起落架.....94
第十步：悬空相机托盘.....94
第十一步：安装接收器和飞行控制器...95
第十二步：关于飞行控制器.....95

仅供非商业用途或交流学习使用

01 特点

Part

本书中的第一部分收集了《Make》杂志的许多特色文章，向你介绍了无人机的世界，这种自动飞行器大多出自于称为四轴飞行器的小型四旋翼直升飞机。

第一篇文章将会使你了解无人机是什么，同时更为重要的是它不能做什么。第二篇文章会为你提供关于无人机各部分的详细解说：从机身到螺旋桨，从电源到核心组件。随后的文章将会讲解无人机的工作原理、正确使用无人机为人们带来的好处，例如将食物与生活必需品投送到世界各地处于战乱中的难民手中，以及其他远程飞行器的用途。当你顺利学习并理解了这 5 篇文章后，你就会更好地理解和享受本书剩下的章节。

另外需要注意的是，本书中很多单位保留为英制单位，你可据此进行换算：1 英寸≈ 2.54cm；1 英尺≈ 0.3048m；1 盎司≈ 28.35g。

仅供非商业用途或交流学习使用



仅供非商业用途或交流学习使用

理解无人机

并不是所有人都喜欢“无人机”这个词——工业和军事专家都避免在公共场合使用“无人机”一词。他们更喜欢使用“无人飞机系统或设备”这一术语，或者使用缩写：UAS 或 UAV。尽管人们对军方与间谍无人机有很多担忧，“无人机”这一名称还是广为流传，并且被热衷于浏览 DIY 无人机网站的狂热爱好者和例如 L.A.-Drone Dudes 的专业航拍摄影师所广泛使用。那么到底什么是无人机呢?

——Dale Dougherty，《Make》杂志的创始人，Maker Faire 的缔造者

Drone（无人机）这一单词在英语中起初的含义是雄蜂。在蜜蜂家族中，除蜂后外，雄蜂体积是最大的；而且在生理结构上，雄蜂有一对比较大的复眼。但是雄蜂的真正工作只有繁衍后代。雄蜂在傍晚的时候聚集到一个集合区域，它们将在那里与蜂后配对。一旦雄蜂交配成功，它们就会在半空中表演某些动作，最终雄蜂会从空中坠落，这就是雄蜂所做的事情。

通过雄蜂没有太多工作这一概念可以引申出来一个推论：雄蜂依靠其他蜜蜂的工作成果来生存，也就是寄生。事实上，在夏末时分，工蜂会将剩余的雄蜂赶出蜂巢。这是因为雄蜂好逸恶劳，而且来年春季还会有新的雄蜂加入集体。

问题随之而来，我们不但要弄明白无人机的定义，而且必须清楚我们通过无人机能做什么和不能做什么。一些人赞同无人机是无人驾驶的，而另外一些人认为有人在操控无人机，并且提出了“远程人控驾驶飞行器”这一概念，缩写为 RPA。这一称呼不会将无人机与远程遥控飞行器区分开来，但是会将无人机的具体责任问题集中到一个特定的操控者身上。无人机的操控可以分为手动模式和编程模式。

区分无人机的标准就是看其是否可被操控。如今，典型的飞行器都有一个手动操作与自动操作的转换开关。倘若使用正确的操作仪器，并且读取正确的数据，在一个新手操作时，是否可以预先在无人机中编入环境感知程序呢? 无人机可以在问题出现前进行预测，例如一阵大风吹来时，或者遇到突然出现的障碍物时，它都会采取相应的措施。而且，无人机之间也可以相互感知。

无人机是否属于机器人，并且遵守阿西莫夫的机器人三大定律呢? 我们所需的无人机坚决不能伤害人类，而且拥有适当的自我保护措施，相比其他自动驾驶的交通工具，无人机在这方面的要求更为严格，因为无人机很有可能会被误认为拥有独立的思想。

然而如今，无人机的相应责任都落到遥控无人机的那个人身上。当你使用无人机时，你不仅是一个使用者——你还是一个飞行员。你必须保护好你的设备和自己的安全，最重要的是，不要伤害到其他人，一个不合格的飞行员可能会伤到他人或者侵犯他人隐私。记住，使用无人机可不像养一个宠物或者开一辆车那么简单。

像 Drone Dudes 那样优秀的飞行员都会担心一个问题：一些对无人机操控不熟练的人会吸引太多人的注意，进而引发公众恐慌，最后导致政府限制或者取消无人机的商业用途和娱乐用途。之所以我们需要更好的科技，是因为熟练掌握无人机操控的人太少。

对于制造者来说，最有趣的挑战不只是制造和遥控无人机飞行，而是探索无人机的优点和一些创新的应用，以及制造者将要面临的困难问题。否则，飞行器和四轴飞行器只会以玩具的方式售卖，而不是以工具的方式售卖，并且使用者很可能只会有“三分钟热度”，失去兴趣后就不再去使用它。我们希望无人机可以成为推动科技发展的一个平台，并且在其中也调整无人机自身的利弊平衡。

仅供非商业用途或交流学习使用



仅供非商业用途或交流学习使用

从多轴飞行器开始

关于如何制作、购买、飞行和使用多轴遥控飞行器的小贴士。

——出自《Make：31》，Frits Lyneborg

多轴飞行器是一种类似于马车轮子构造的飞行机器。它有一个集电子元器件、电源和传感器于一体的中央毂，和一个装有螺旋桨轴的支架结构。飞行器的名字取决于轴的数量：三轴飞行器（trirotor）有三个轴，四轴飞行器（quadrotor）有四个轴，六轴飞行器有六个轴，八轴飞行器有八个轴。还有很多其他的版本，但以上说的 4 种是最为流行的。

多轴飞行器有很多种名字，而且有很多种有待争论的称呼，但我坚持称呼它们为多轴飞行器，因为这一称呼在网络上最为普遍，同时也可以在网上搜索到更多的相关信息。为什么要尝试多轴飞行器呢？可能是因为你会一见钟情；或者你曾经玩过遥控飞机，现在想尝试一个新的方式；或者你很热衷于 DIY 一些电子产品；再或者，你想尝试一下航拍。无论你的目的是什么，它给了你一个新的选择。我已经使用过很多种多轴飞行器，并且亲自制作了 3 架多轴飞行器，所以我想要与你分享一些我掌握的技巧。

产品历史

在 2003 年，中国香港银辉电子公司在报纸中得知一则消息：同为学生的 Daniel Gurdan 和 Klaus M.Doth 在德国青少年科学竞赛中获胜（见图 2-1）。Gurdan 和 Doth 的参赛作品便是一个由无线电控制，并可以自动平衡的四轴飞行器。

在 2004 年末，银辉电子公司开始自产 X-UFO，一种由学生设计的（见图 2-2）的简易和廉价版的飞行器。这一产品冲击了国际市场，并且将缩小版的遥控多轴飞行器的概念植入人心，这就是我们为何可以在当今的市场上看到无人机的原因。

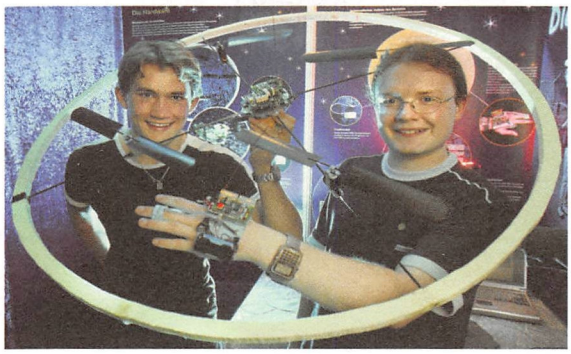


图 2-1

Gurdan 和 Doth

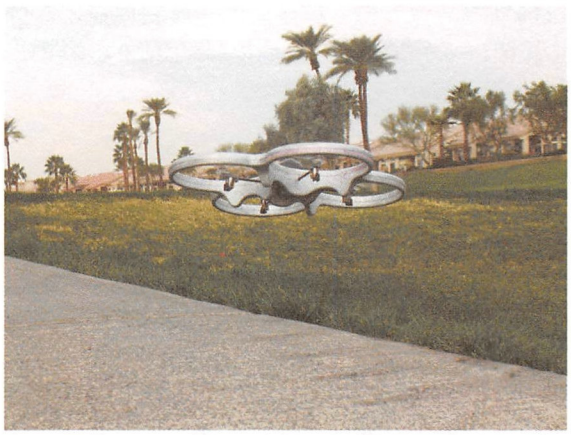


图 2-2

银辉 X-UFO

工作原理

在常规直升机中，尾部旋翼的作用是提供水平方向的推力，进而中和主旋翼的扭转力，以防直升机的主体围绕主旋翼旋转（见图 2-3）。

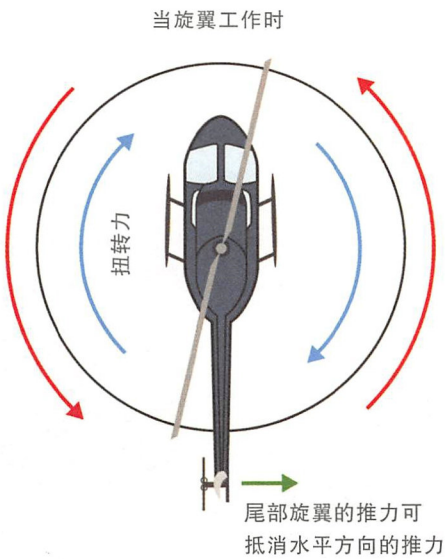


图 2-3

常规直升机如何工作

相比而言，多轴飞行器的工作原理大不相同。以四轴飞行器为例：螺旋桨的旋转方向是不同的（见图 2-4），这是为了抵消相邻螺旋桨的扭转力。

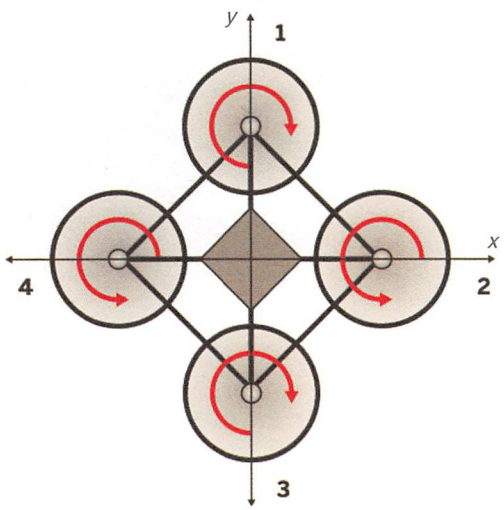


图 2-4

四轴飞行器的螺旋桨以相反的方向旋转

更重要的是，多轴飞行器带有一个主控板，用于控制每个螺旋桨的转速，确保每个螺旋桨的转速、倾斜度、偏航度一致，以及保持方向舵控制好中心点以及轴点，以便满足它飞往任意的方向。

你的第一个多轴飞行器

最适合初学者的多轴飞行器的重量很轻：飞行器越轻巧，坠机时对周围及飞行器自身所造成的伤害就越小，原因是初学者很容易坠机。反之，飞行器越大，操控时就越危险。大型飞行器的螺旋桨可以划开衣服和皮肉，并且造价也很昂贵。轻版本的飞行器的缺点则是可携带的外设（相机及其他传感器）较少，并且飞行的时间较短；而优点则是更加便宜。具有讽刺意味的是，由于携带较少的传感器及整体结构简单，轻版本的飞行器通常难以操控，但这是一件好事。为什么这么说呢？这是因为当你学会如何操作轻版本的飞行器时，那么使用一个大型、复杂的多轴飞行器对于你来说就易如反掌了，甚至可以让飞行器自动飞行，但是不要这么做，因为自动飞行时一旦出错，错误就会接连不断。

制造属于你自己的多轴飞行器

在你接触多轴飞行器之后，你会发现自己动手做一个飞行器也不是什么难事。以下是一些基础配件。

电池与电机

真正神奇的部分是将锂聚合物（LiPo）电池与无刷式电机相结合。这两种元器件，再加上一个带有遥控飞机螺旋桨的常规电机，就可以使这些部件飞起来。事实上，这种组合可以让任何东西飞起来。

电子速度控制器和控制主板

多轴飞行器飞行时必须以某一特定的方式进行控制和保持平衡。电机由一个被称为电子速度控制

器（ESC）的小型单元模块操控，ESC 需要接收信号来决定该给电机多少动力。在多轴飞行器中，信号源自于一个特殊的控制主板，控制主板和一个标准的遥控飞机接收器相连，也可以和其他外设相连，例如 GPS，但是你要考虑一下钱包的感受。现如今最流行的两种主板分别是 HobbyKing's Multi-Rotor Control Board V2.1(hobbyking) 和 Multi RC Shop's KK Plus V5.5e Multicopter Controller(multircshop)，这两种主板都以 Atmel 的 ATmega168 微控制器主板（见图 2-5）为原型。面向 Arduino 的设计者们都偏向于 DIY 无人机 ArduCopter 系统（copter.ardupilot），将 ArduPilot Mega 的主板安装到 ATmega2560 主板上（见图 2-6）。

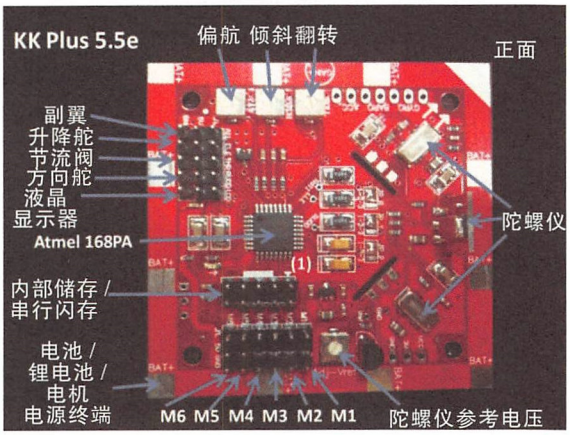


图 2-5

KK Plus 主板

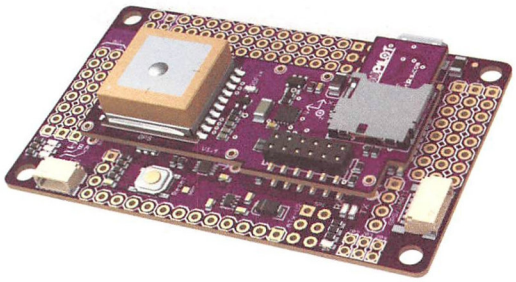


图 2-6

ArduCopter 主板

机身和远程控制装置

多轴飞行器的机身可由任何材料制成，也包括木材，所以唯一具有“魔力”的部分就是它的控制主板。其余的就是远程控制装置：一个四路发送器和接收器，通过一个连接器将其和其余部件连接。在 Google 上搜索“multicopter control board”，这将会带你开始无人机之旅，并且为你介绍大量关于无人机制造的说明，同时推荐你访问 rcexplorer, hobbyking, diydrones 来获取更多资讯。

使用多轴飞行器录制视频

在空中拍摄视频是众多多轴飞行器爱好者的梦想。不幸的是，许多人花费了很多资金也没有拍到一些专业的画面，而在真正的直升机上，只需要少许费用。一些商店用飞行器爱好者的梦想来作卖点，我认为这是不公平的，所以我建议你在购买前应该认真考虑。做个试验：将你的相机绑在扫帚柄的一端，尝试用这一方式来得到一个连续镜头。然而你可能会得到一些有趣的角度和“伪艺术”的作品，通常得到的镜头只是“来自于扫帚柄的末端”，最终你会发现难以得到像以前手握相机时拍下的画面。使用多轴飞行器拍摄的原理与此类似。你可能会在一些视频网站上找到一些由多轴飞行器拍下的很酷的画面，但这些视频的主旨是在展示飞行的过程（看！我在飞），而不是局限于特定的人操作。如果你努力练习，你可能会得到很酷的画面，但其中幸运的成分相对更多，除非你的飞行器可以将视频实时传输到地面（查看“相机和视频向地传输”部分）。如果你拍下一张房子的照片，它将会呈现一个笨拙的整体构图；如果你想要录制移动的物体，中心物体不会稳定地处于镜头中，画面也将会乱晃，所以这并不容易。

平衡环和陀螺仪

你可以花费高昂的价钱购买带有陀螺稳定器的相机支架和平衡环。但是在你这么做之前，先去看看那些未加工的影片（至少时长为一分钟，并且不

使用高速镜头、不编辑为短片形式、无后期制作）。我不推荐两轴陀螺平衡环，因为在我的经验中，无论它多么昂贵，在拍摄画面时都会产生剧烈的振动（三轴产生的振动更恐怖）。我不认为这一类外设有很大的用途，因为多轴飞行器在把握好方向后的状态同样稳定。最好的底座往往是一些很简单的东西，例如可弯的塑料管和泡沫海绵。接受相机难以稳定工作的现实吧。

相机和视频向地传输

如果你多加练习，你会通过多轴飞行器得到一些很酷的相片或者视频，但是如果你的操作水平位于中等级别，那就不要抱怨略微模糊的画面了，使用一个更轻的相机，专注于在空中使用相机拍摄移动镜头。我所见过最好的视频使用的是广角镜头，通常这些镜头出自于 GoPro 相机品牌（见图 2-7），这种镜头的每秒传输帧数为 60 帧 / 秒，给人一种慢镜头的感觉。相机越轻，飞行的表现就越稳定。首先考虑 8 盎司及以下重量，最终受益的将是你所得到的视频。事实上在你观看实时录像的内容时，你处于“第一人称视角”（FPV）。视频对地传输的方式取决于以下几个因素。



图 2-7

可与无人机搭配的 GoPro 相机

费用、重量和电源续航力

你所使用的天线的接受范围有多远？在你的国家，法律允许的无线电频率是多少？哪个无线电频率已经被使用过？

传输功率

使用 1W 及其以上功率时可能需要相应的操作许可。有关频率调节信息的内容请参考 http://makezine.com/go/hamradio。

电磁脉冲

大功率的发送器会造成伺服系统和其他电子元器件的故障。这些事情无法避免，而我也没有什么黄金法则来分享。有时候故障就是毫无征兆地发生了。

通常来说，当你想要飞行器具备轻量级、可控范围广，并且处于稳定无线频率的特点时，那么你就不会考虑随意的 TV 传送装置。去一家拥有多轴飞行器视频传输经验的商店来购买你想要的东西，如果你购买了一副带有显示器的视频眼镜（见图 2-8），那么你就可以实时观看无人机上的相机所拍下来的画面。别的不说，通过遥控装置来拓宽自己的视野也是一件很酷的事情。



图 2-8

“第一人称视角”视频眼镜

走向远方：无人多轴飞行器

一旦你掌握了如何遥控多轴飞行器，你便会想要尝试无人操作。大多数人所说的无人机是指可通

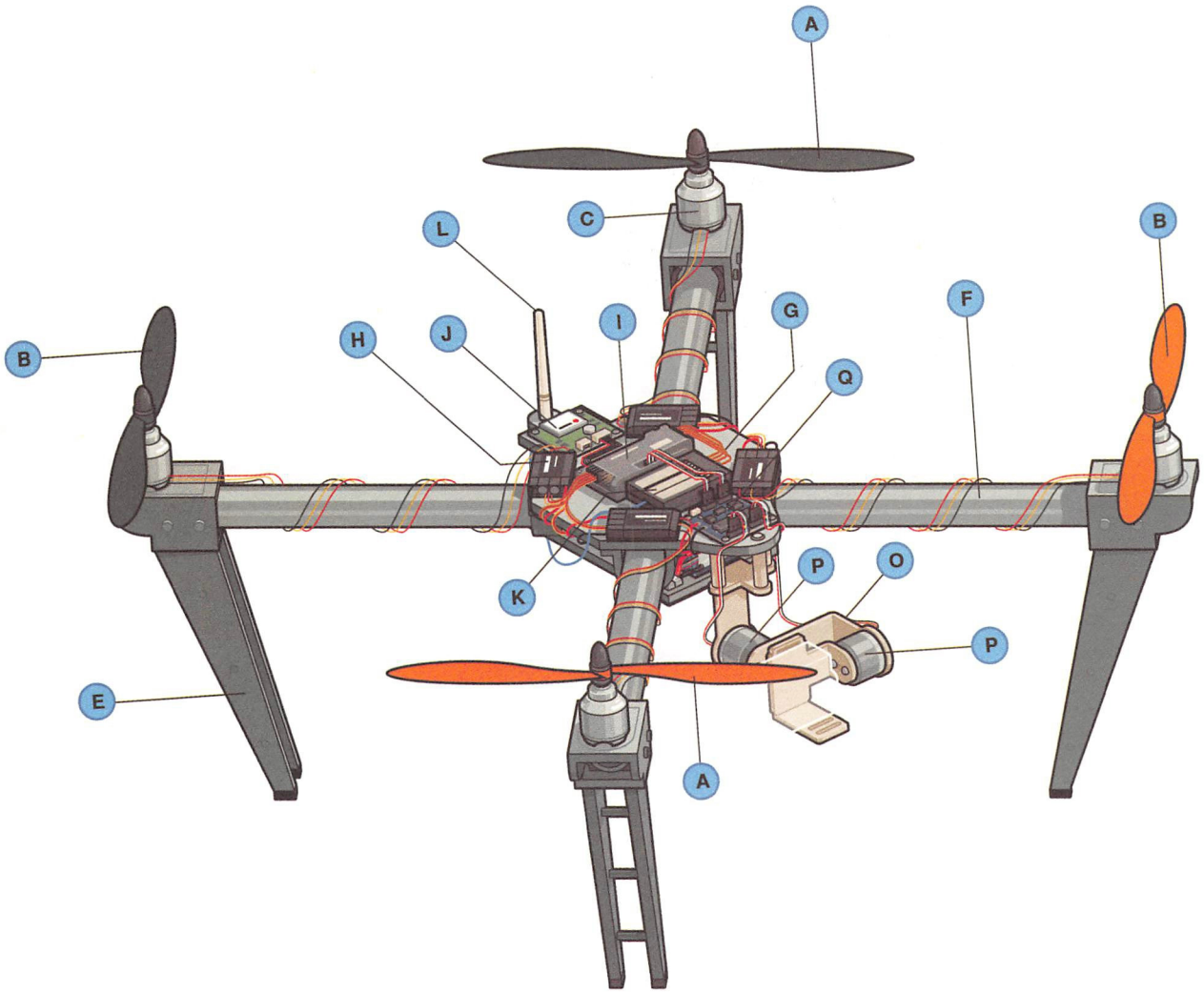
过 GPS 定位和寻找航路点来自主飞行的飞行器，这是很特别的。其中一个例子便是 ArduCopter，由 DIY Drones 团队以 Arduino 自动飞行为基础进行改进的控制方式（见图 2-9）。



图 2-9

一些 ArduCopter 的画面

通过相机记录，我们也可以对无人机进行一些比较流行的设置，相机会根据无人机的飞行轨迹来计算相应数据（通过在无人机上增加定位点）。或许你也可以让无人机飞向太阳，这全都是传感器的功劳。如果你使用无人机做某些实验，要确保无人机处于你的视野范围之内。我所了解的大多数系统内部设置的操作范围为 250m。一旦你开始接触多轴飞行器，你会发现“自主操控”和“远程遥控”之间没有一个清晰的界限。任何多轴飞行器都包含一定程度的自主调节（否则飞行器会坠毁），并且几乎所有的自主飞行器都有返航远程遥控的选项（以防危险情况发生）。关于多轴飞行器，自动和人工都是相对而言的。


A
C
L
B
B
H
J
I
G
F
Q
K
P
O
P
E
A

无人机的具体结构

标准螺旋桨

采用与常规前置引擎遥控飞机相同的“牵引式”螺旋桨，如上页图中的橙色区域所示。

“推进式”螺旋桨

这种螺旋桨以逆时针的方向旋转，这是为了在水平飞行时抵消电机的扭转力。不同的倾斜度使飞行器得到上升的动力。如上页图中暗灰色区域所示。

电机

飞行器往往采用无刷电机，这类电机更加高效与可靠，同时产生的噪声要比有刷电机小得多（见图 3-1）。

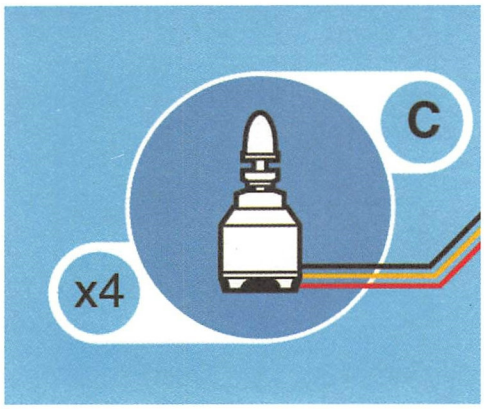


图 3-1

电机

电机底座

有时电机底座与起落架支柱是一体的（见图 3-2）。

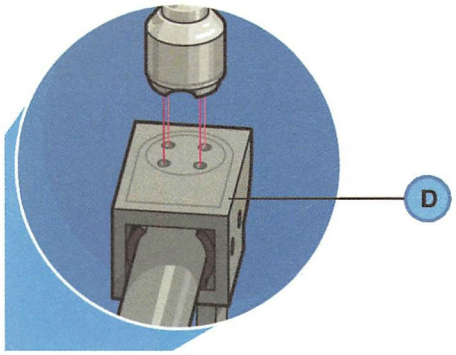


图 3-2

电机装置的特写

起落装置与吊杆

飞行器的设计中包括类似于直升飞机所采用的刹车装置，但由于重量方面的限制就省略了起落架（见图 3-3）。

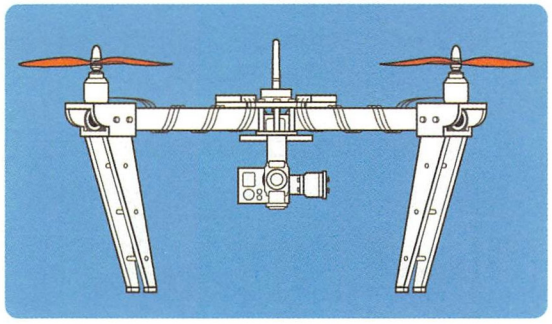


图 3-3

起落装置与吊杆

吊杆

较短的吊杆可增加飞行器的可操作性，而较长的吊杆则增加机体的稳定性。吊杆必须足够坚固，

以保证当飞行器坠毁时，将损害的程度降到最低。

主机体

如同自行车路上的辐条，主机体位于中央，吊杆沿中心辐射出去。主机体包括电源、航空电子设备、相机和传感器（见图 3-4）。

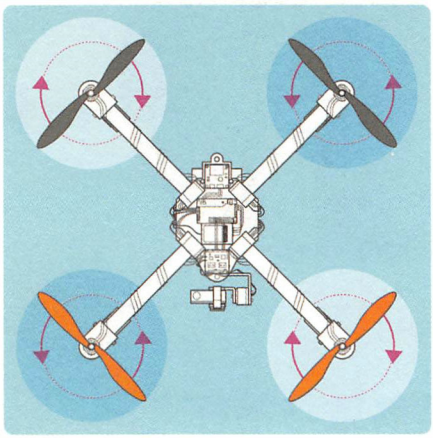


图 3-4

无人机的主机体

电子速度控制器（ESC）

将直流电池产生的电力转为可供无刷电机使用的三相交流电源（见图 3-5）。

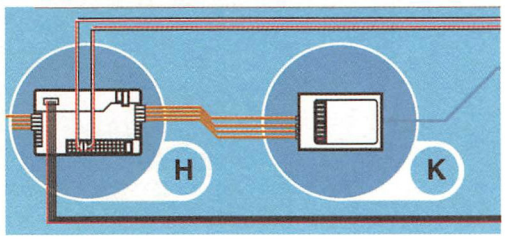


图 3-5

电子速度控制器（H）和信号接收器（K）

飞行控制器

飞行控制器包括信号接收器、GPS 模块、电量显示器和机载传感器。用于调控电机转速，通过电子速度控制器来实现转向操作，以及调控相机和其他外设。可控制自动驾驶仪和具备其他自动功能（见图 3-6）。

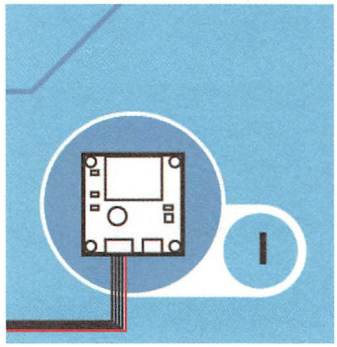


图 3-6

飞行控制处理器

GPS 模块

GPS 模块通常包括 GPS 接收器和磁力计（用于提供飞行器所处的经纬度、高度数据），以及单独存在的指南针部件（见图 3-7）。

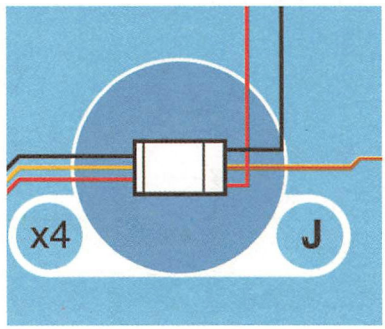


图 3-7

GPS 模块

接收器

接收器普遍为一个标准的遥控无线接收单元。对于四轴飞行器，最少的频道单元为四个，但是我推荐你使用五个频道单元（见图 3-5）。

天线

天线的样式取决于你的接收器，有可能是扁长的天线，也有可能是用橡胶包裹的螺旋式天线（见图 3-8）。

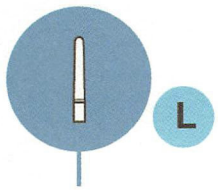


图 3-8

天线

电池

锂聚合物（LiPo）电池可以提供强有力的能量与电力支持，并且在市场上极为流行（见图 3-9）。

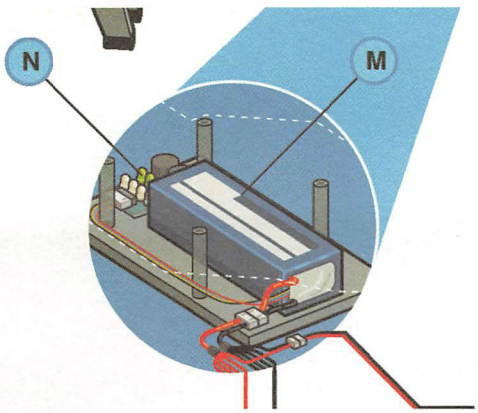


图 3-9

电池（M）和电源组件（N）

电池组件

这一部分可为操控者提供飞行时电量的实时监控。

平衡环

平衡环可提供一、二、三维坐标轴来保持机身的稳定性，并且协同相机及其他传感器一同工作。

陀螺电机

无刷直流电机可以直接驱动角度定位，当然这要求特殊的线路连接和专业的控制电路，这一功能直到近期才被用于商业方面。

平衡控制器

平衡控制器可以允许使用者在已设定标准习惯的伺服模式下，直接驱动无刷陀螺电机（见图 3-10）。

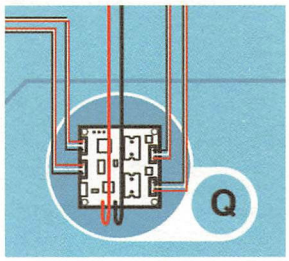


图 3-10

平衡控制器

相机

GoPro 或者其他类型的即时硬盘存储相机皆可。通过一些特殊的设备可以实现实时画面传送（见图 3-11）。

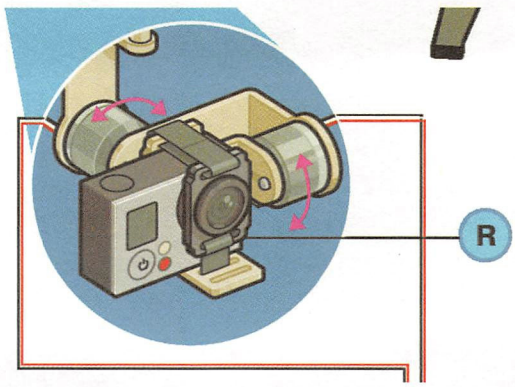


图 3-11

相机



用无人机为遭受战争困扰的叙利亚投递食物与药品

军用固定翼无人机不只是为了投放炸弹——用于给叙利亚提供必需品的非营利无人机

——出自《Make：47》，Signe Brewster

2011 年叙利亚爆发内战。连年的战争使得叙利亚民众缺少药物和其他必需品，而任何试图进入叙利亚的飞机，都有被某一方击落的危险。

多尽一份力

Jacobsen 正在攻读政治学博士学位，同时他也是一位前空军一号驾驶员，他这样说道：在如此混乱的氛围下，一架货机想要飞入战场，这简直就是天方夜谭。

他满怀内疚地回到了自己的住处。这似乎不是一个能让人满意的答案。当他与自己的同事交谈时，他开始执着于用一种方式来大量投递包裹——或许只能通过无人机了。他拿出了自己的笔记本，当时已经是凌晨 2、3 点，然而此刻他的内心毫无倦意。

“似乎我的内心有很多种媒介可以投递小型包裹的想法，但是我不知道具体哪种技术可行，是四轴飞行器呢，还是飞机呢，也许是弹射器，或者其他的东西，气球可以吗？”Jacobsen 说。“我试着罗列出所有我能想得到的东西。”

就此，Uplift 航空和叙利亚空投项目就正式成立了。

Uplift 航空计划训练一些地上的难民和其他民众如何使用和维修无人机，首选区域便是叙利亚最大的城市——阿勒颇，那里受到的战争危害最为严重，人民饱受饥饿与疾病的困扰。

无人机到达阿勒颇大概要花费一个半小时。它并不会降落，而是将供给品绑在降落伞上，然后直接进行空投。投送完毕后就立刻返航，回到发射基地后，志愿者们对无人机进行充电，重新进行装载货物等操作，而后立即起飞，再次返回第一现场，就这样日复一日。

复杂性

在没有允许的情况下，将任何东西飞入一个国家边境都是有违国际法的，更不用说成百上千的无人机。

Uplift 航空还要与叙利亚周边国家的政府进行交谈，例如土耳其和约旦。此外，Uplift 航空必须对其无人机的安全性和有益性作出相应的保证。

获取无人机起飞准许

Jacobsen 表示，Uplift 航空只是以救援为目的，他们的无人机一旦在发射基地以外的地方着陆，无人机将自动运行内部的自毁装置。任何距地面过近的无人机都将无法再次启动。同时一旦无人机起飞，他们将不对其发送任何指令，无人机的路径都是预先编排好的，内部定制的固件会阻止无人机在叙利亚境内飞行时收到任何信息，这将保证无人机不会被黑客入侵。这样，他们才获取了无人机在叙利亚境内的飞行许可。

一个志愿者团队

在 4 月的一个晴朗炎热的日子里，Jacobsen



图 4-1

Michael Taylor 以及他的 Uplift 航空“Waliid”无人机（被放置于自制 PVC 起落架上）



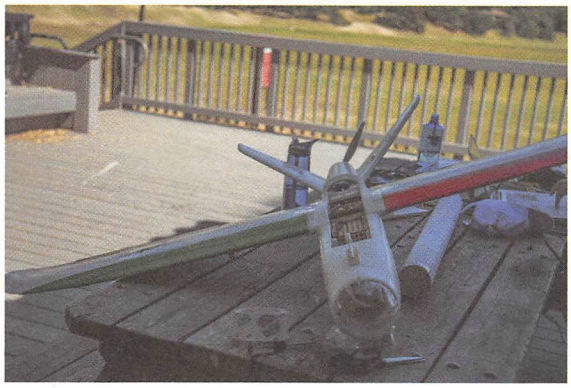
图 4-2

一名志愿者正在测试无人机的无线电操纵

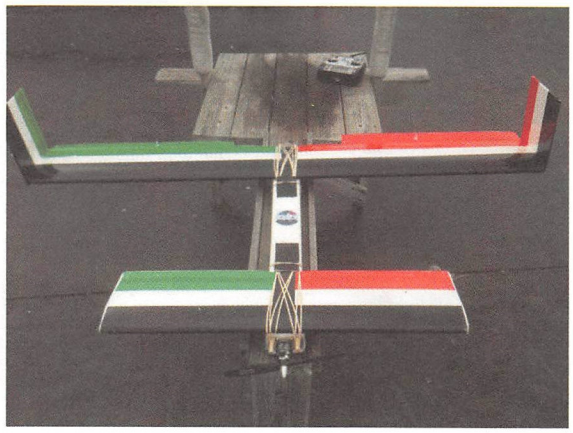
和 4 名志愿者聚集在斯坦福大学的 Lagunita 湖边。工程师 Michael Taylor 在电子工程领域拥有博士学位，他带领两名志愿者将无人机发射器放到湖床上。由于加利福尼亚的多年干旱，湖床早已变为一片野草地。



在湖边的一个较高的走廊上，Jacobsen 组装并测试了“Waliid”无人机。他还分配给新的志愿者 Stuart Ginn（医学实习生）一个任务：检查无人机的软件及飞行前协议。



由于采用泡沫制造，并且用胶带固定，所以无人机的外形不是很美观。它的外形像飞机，而不是市场上出售的四轴飞行器，因为像飞机外形的无人机可以飞行更长的时间。无人机翼展5.7英尺，以黑、绿、红三色涂装。



回到地面上，Taylor 和航空航天学博士学生 Heather Kline 已经制作好了发射台——一个引导无人机升空的 7 英尺长的 PVC 支架。Tomoki Eto，一位机械工程专业的毕业生，同时也是一位经验丰富的无人机驾驶员，将橡皮筋的一端固定在距发射台几百英尺外的地方，另一端固定在发射台上，一旦释放橡皮筋，橡皮筋的拉力就会将无人机扔向天空。

整个团队由 5 人组成，但也可以认为是由 15~20 人组成，这取决于你如何看待。整件工程的核心位于斯坦福，但是参与的人来自世界各地，都在为这一项目尽心尽力。该项目似乎像是一个通过 E-mail、Skype 和 Dropbox 社交软件来沟通的非正式合作，但是 Uplift 航空尽全力来提供项目所需要的原料。

与很多志愿者的经历相似，当总工程师 Brandon Fetroe 在斯坦福的无人机俱乐部听到这个项目的消息的时候，即刻就加入其中。

“在一开始，项目中就明确了一点：每个人都是以助人为乐为宗旨，将自己的技能融入整个团队中，总的来说，众人拾柴火焰高。”Fetroe 说。

Fetroe，一个机械工程专业毕业的博士生，从 12 岁起便开始操作遥控飞机。他将自己的专业知识视为能帮助团队的力量的九牛一毛。再例如 Ginn，他是一名商业飞行员，现如今正在帮助一些民间组织。而且 Jacobsen 也向当初在美国空军一



图 4-3

Uplift 航空成员：Heather Kline、Tomoki Eto、Mark Jacobsen 和 Michael Taylor

号工作时的战友寻求帮助。

开辟新天地

使用无人机来递送物品在全世界都很流行。叙利亚只是众多因战争无法地面运输的国家之一。

叙利亚的人民将飞机视为死亡的象征，而且关于飞机的记忆都是恐怖的，当一架无人机飞来时，如果它带来的是帮助而不是死亡，这将会重燃难民内心的希望，让他们感到不再孤独；让他们感到世界没有将他们遗忘；让他们感到还有人在全力帮助他们。

开放资源

当一切就绪后，整个团队聚集在湖床的发射台周围。“Waliid”无人机安放在带有弹射装置的金属轨道顶端。

最后再口头进行安全提示，以保证观看测试人员的安全。

“一切就绪！”Jacobsen 大声呼喊。

在发射台释放的那一刻，无人机将会弹射出去。橡皮筋将会随无人机的起飞而断开，就这样，无人机飞过 Lagunita 湖。



Uplift 航空所使用的无人机内部运行 3D Robotics 生产的软件。Jacobsen 同时也运行一个可以计算不同速度下无人机耗能的自定义软件。有时，“Waliid”将会以每小时两英里的速度加速，逐渐稳定到 28~50 英里的时速。

如果 Uplift 航空将无人机派往叙利亚境内，无人机将会运行另一个自定义程序。一款被称为 Swarmify 的应用可以制定一个单独的飞行计划并且无人机会按照半随机的路径返回。

“因为每个飞行计划都有一些不同，这就确保了无人机不会相互碰撞”，Jacobsen 说。“同时这也在策略上保证了无人机的存活率，因为任意两架无人机都不会经过同一个地点，如果你看见一架无人机从你头上飞过，那么就不会再有第二架无人机了。”

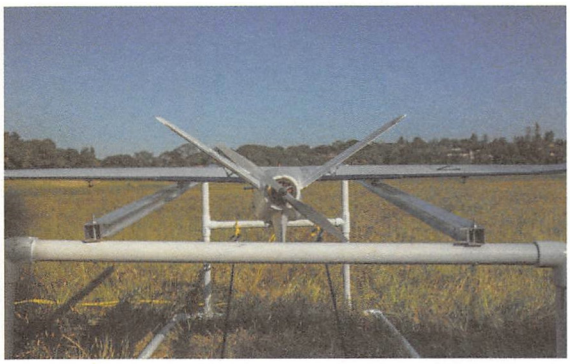


大多数的无人机都是现货供应，并且公开销售的。然而 Uplift 航空某天可能会自主生产无人机，现在只是使用一些便宜的零件来组装。这一选择与当初组织的起源有关，当 Jacobsen 自学如何建造和编程无人机时，他总会选择一些便宜的材料。

即使现在 Uplift 航空志愿者团队的规模越来越大，但 Uplift 航空依旧自己组装无人机，因为这一步是不可替代的。

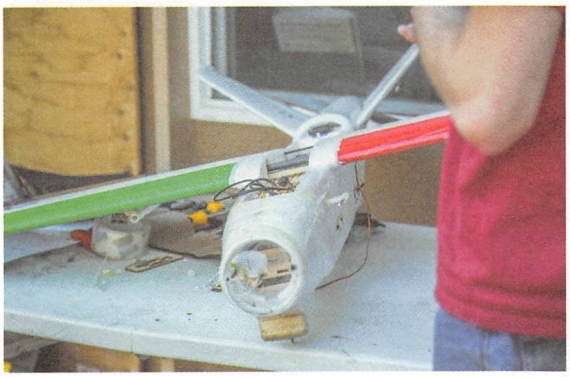
“当我们看到一些不同的机型时，一目了然的是：整个市场的产品的功能性都与价钱紧密相关，”Fetroe 说。“如果你将所有的无人机排成一排，将最小最便宜的放在一端，将一些大的、商用的或者军用的无人机放在另一端，你会发现整体将有很大的区别。”





当初那些可携带几磅货物飞行一小时，价格仅为 1000 美元的无人机已经不存在了。现在市场上有更多新的选择，但其中的大多数还没有真正的冲击市场。如今，Uplift 航空还是保持着自己当初的设计。

现如今流行的悬挂式飞行器的价格在 500~1000 美元。“Waliid”飞行器其实是在价格仅为 100 美元的“Talon”的基础上增加了 X-UAV 改造，其自动飞行系统出自于 3D Robotics，其电机、支柱以及伺服器都是中等价位的，可以在 Hobby King 上选购。

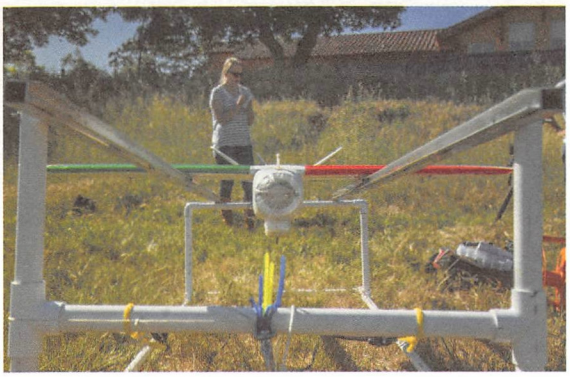


在机体的腹部存放着最重要的东西——货物。机体的腹部是一个木盒，由 Fetroe 用激光进行切割，用于释放所储存的货物。它携带着用垃圾袋制成的降落伞，降落伞的材质以塑料制品为主，并且越便宜越好（详情参照第 13 章）。

无人机可以更多地用于人道救助

无论叙利亚空投项目是否会取得成功，Uplift 航空都看到了无人机的未来。这个夏天，多个无人机的成功飞行，折射出的是日后成百上千架的无人机将会投入到周边国家的使用。即使只有几架无人机，也要将它们用于农业灌溉，或者是让它们参与灾区救援。









“我的长期目标是建立一个没有饥饿与医疗缺失的世界；人们总是可以找到人道主义的救援。这是我一生的追求。”Jacobsen 说。“如果我们可以把第一步走好，那么未来将一片光明。”



四轴飞行器

专业的飞行员和研发者努力使四轴飞行器比以往更加炫酷和实用。

每个人都喜欢飞行机器。自从十年前第一次试飞成功，DIY 四轴飞行器与半自动航空平台就得到了迅猛的发展，这多亏了狂热爱好者的发掘，以及例如锂电池、无刷电机和小型高效的传感器等高科技的推动。拥有了这些设备，无人机的性能更加稳定，以及在半自动操控时更加可靠。

那么如果无人机可以自主操控，那些狂热者如何保持投入与兴奋的状态？为了解决这一问题，我们聚集了不同行业的无人机高手来共同商讨与证明一些最新的工具和科技可以为四轴飞行器添彩的问题，这其中包括好莱坞的电影制片人、防撞机身研发者以及航空软件和部件的开发者。他们得出的结论是无人机将有一个辉煌的未来。

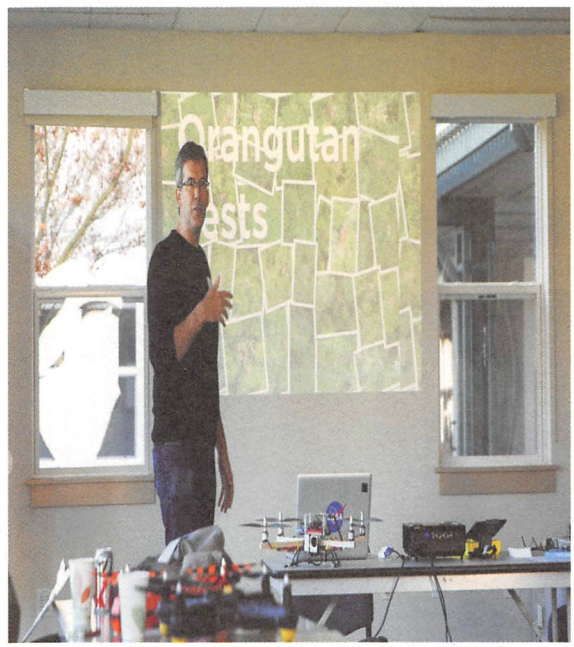


图 5-1

3D Robotics 设计主管 Jason Short。参考网站：3drobotics

用 APM 完成从 0~60 的加速

APM：飞行器诞生于 2010 年 10 月 10 日。这一天我难以忘记，因为我的儿子 Lukas 也在这一天出生。我们在医院度过了一周，同时这一周也是旧金山舰队周，当“蓝鹰”从我的头顶上飞过时，我意识到我作为无人机飞行员的生涯即将结束。所以我开始计划制作一个可以在后院使用的小型无人机。

适应 APM：一开始，多轴飞行器很容易操控，但是想要完成自动转弯似乎是一个比较棘手的问题。多轴飞行器对飞行控制装置加以比较多的压力，运行以 Arduino 为基础的处理器需要超过 100 000 行的代码，在这中间几乎不会出错，但往往计算结果总是将无人机坠毁。研发出一个坚不可摧的飞行控制装置需要小型志愿者研发团队的多年钻研，但是结果仍然不尽人意。

如今，3DR 研发团队专注于开发一种适用于新手的软件，并且可以将 APM 与各种机身匹配。

最新版本的 APM：飞行器为我们带来了很多新颖且实用的性能。设置安装向导可以帮助你顺利通过配置过程，新型的自动转弯功能也会记录下无人机的飞行方式，进而对无人机的飞行方式进行调整，并且对人为操控的失误加以过滤。一个全新的、高效的内部装置将 GPS 与内部感应器加以融合，从而可以满足各个级别的玩家开箱即用。此外，名为“地理栅栏”的软件可以防止飞行器飞得过低或过远。如果飞行器超出了控制范围，APM 将会自动接管，保证飞行器安稳着陆。

新型的“drift”飞行模式凝结了自动飞行的精华，简化为仅靠一根操纵杆即可完成所有操作，最终使无人机在飞行时更像赛车，而不像常规的多轴飞行器。如果你失去了方向，只需要释放操纵杆，无人机会自动刹车与返航。

最激动人心的改进是新型的 Android 全功能平板电脑界面，这将实现无人机的飞行与路线规划。像 DriodPlanner 和 Andropilot 的社交软件一样可以让用户通过使用谷歌地图来完成无人机的飞行。

例如先进的“跟随”功能，可以将平板电脑的位置发送给无人机。带上你的私人相机，当你去攀登乞力马扎罗山峰时，去夏威夷冲浪时，或者孩子初次成功骑单车时，用无人机记录下这些美好的画面吧。

建造世界上最坚固的无人机

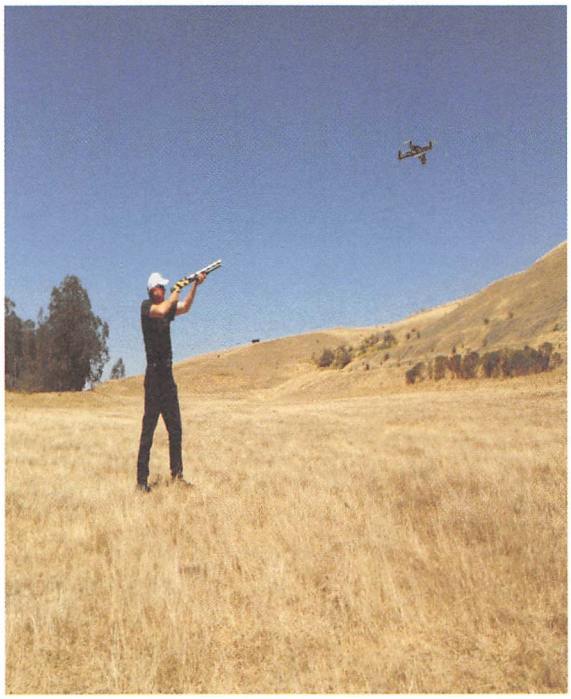


图 5-2

Marque Cornblatt，Game of Drone 的创办人之一。参考网站：gameofdrones

位于加利福尼亚的奥克兰市，在一个堆满喷火的机器人、怪兽机器以及其他毁灭性工具的隐蔽仓库中，一群半公开的“阴谋家”、工程师与艺术家常常在深夜聚集在此。一开始，他们只是互相炫耀自己最新定制的机器人与无人机。

在这之后，他们拿出自己的得意作品进行一对一的“铁甲决斗”。

在“飞行俱乐部”中，残酷的淘汰将是必然的。“飞行俱乐部”的第一条规则就是：禁止一切贵重易碎的商用无人机参加，尤其在混战之中。但是在这儿，一些新颖的，甚至具有开创性的设计都被发掘出来，包括许多可以使无人机更廉价、更坚固、更加容易修理的 DIY 方法。

“飞行俱乐部”允许我与工业设计师（同时也是空中混战的主要竞争者）Eli Delia 组队。我们开始共同寻找高性能的材料，在航空、军事、执法机关甚至医疗制品中寻找制作坚固材料的方法。

研究最终将我们引入了热成型高分子聚合物，然后我们就开始设计并使用不同的塑料来制作机身，这其中包括苯乙烯、聚碳酸酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）以及 Kydex 100，最终我们决定使用极为坚硬的“alloy”塑料。在登录 Kickstarter 网站后，我们对市场进行了调查，并且得到了无人机和各个领域的用户的最直接的反馈，他们的观点使我们对下一步有了更多的想法。

我的私人无人机——也是我唯一的一台无人机是我们公司第一代原型机之一。它已经从几百英尺的地方坠落过无数次，经历过火海与水浸。我们故意让它飞向玻璃，并且用猎枪射击过它，但它仍然在为我们的试验做贡献。

当然，它经历了很多磨难：剐蹭、撕扯以及接连的击打。但是它的性能依旧完好如初。其中的秘诀在于其机身的结构，说实话，我很难想象其他类型的无人机在经历这种折磨后还能继续工作。

除去极为坚固的机身构造，我们还对内部的设备进行了改进。例如，相比于使用 4 个 ESC，我们更喜欢使用四合一的ESC 主板来控制电机转速，这有效地降低了失败的概率。最终得到的是一个极为坚固、极为简洁的机身，该机身可以全天候使用并且不受任何损伤。

因为大多数用户都会进行长时间的练习以避免机身的碰撞和剐蹭，大多数机身——即使在设计之

初，各方面已被最优化的机身也都是机械的、易碎的。渐渐地，人们心中接受了无人机坠落这一不可避免的情况。因此越来越多的无人机爱好者克服了心中的恐惧，并且操控无人机的技术得到了相应的提升。

在 Game of Drone 中，练习操控无人机的方法就是直面困难。我们的座右铭是“不惧艰难与困境，它们只是无人机。”我也希望通过这句话不但可以让更多的新手进入状态，而且能让更多的人在游戏、商业、研究等领域设计、制造与使用无人机。

作为空中接入点的无人机

Wi-Fi 科技将会使无人机更容易操作，以及为其提供更多的机会，最终，无人机可以实现网络操控。

虽然目前有可以自主操控，并且不需要人为操控就可以完成起飞与降落的无人机，但是我们仍旧想时刻了解无人机的位置和机体性能是否良好，并且时刻可以切换为人为操控。为实现这一目标，必须保持飞行中的绝大多数时间处于无线连接状态。



图 5-3

VP 产品主管，爱诺威科技——Adam Conway。参考网站：aerohive

当今为业余爱好者和职业飞行员设计的无线通信主要有三种连接方式。

控制

通过手动方式操控无人机，或者切换到自动模式，都需要安装一个传统的遥控发送器和接收器。

遥测技术

在无人机飞行时，它自身携带将遥测数据送回地面的功能。该数据通常包含 GPS 位置和诊断数据，而且机上传感器也可以在飞行中更改设置和添加新指令。遥测数据一般会通过远距离串行连接进行发送，例如 IEEE 802.15.4。

视频

这是让大多数无人机用户最为激动的地方——实时视频传送可以让用户拥有“飞一般”的感觉。对于大多数业余爱好者来说，唯一需要的就是无线模拟视频发送器 / 接收器。模拟视频系统可以确保在低预算的前提下，保证较低的延时与等待时间。

当三种系统同时运行时，可能会发生冲突（潜在的灾难性结果），所以大多数操控者将这三个系统设置为不同的波段。常规的无人机使用遥测技术的波段为 900MHz（美国最低配置；433MHz 为欧洲标准配置），控制的配置为 2.4GHz，视频的配置为 5GHz。这样设置是因为越高的波段意味着越短的航程。通常，视频的连接是最弱的，在使用者失去控制数据或遥测数据之前，视频就已失去信号。

最好的解决办法就是使用一种可以同时操控三个系统的无线科技，一种控制范围广且可以快速接收三种系统信号的无线设备。由此，Wi-Fi 明显是我们的首选：它很快、便宜并且（在适当设置后）可控范围广。

长远来看，Wi-Fi 和其他 TCP/IP 网络将会是实现无人机网络操控的基石。

现在无人机已经向消费者开放，例如 Parrot AR，该产品使用 Wi-Fi 对视频和控制信号进行

操作，但是软硬件的灵活性与开放性没有跟上步伐。然而，许多积极的工程师和黑客们都在将 ArduPilot 融入到 Wi-Fi 遥测和控制中，我坚信总有一天，所有的无人机都会实现 Wi-Fi 操控。



图 5-4

Drone Dudes 成员 Jeffery Blank 和 Andrew Peterson。参考网站：dronedudes

我们是一个集电影制作人、设计师、飞行员为一体的特殊群体。我们使用定制的无人机和相机平衡环，为全世界的电影航拍、商业广告、音乐视频以及体育盛事提供服务。我们很庆幸有很多的人支持我们，我们也想知道这项振奋人心的科技将会把我们的事业与艺术发展到什么地步。

我们的系统为传统航拍提供了一个划算的、安全的、更为动态的选择，用一种新的方式取代了使用直升机和起重机的传统拍摄方式。

每部无人机使用的都是不同级别的相机。重型无人机携带的是可呈现高清电影画面的高端相机（例如 RED Epic）。事实上，RED 的相机就像一种工业标准，将它带上天空也是我们的首要目标。

现在，随着高品质的高清相机越来越小以及越来越便宜，我们坚信电影无人机未来会形成一个紧凑的系统。我们最新的无人机（D2）满足了专业航拍的所有需求：机载 GPS、定制版三轴无刷平衡环、高清摄像系统、无线跟踪定位以及双重降落保险系统。装备了这些敏捷的响应系统，我们希望 D2 可以站在电影无人机食物链的顶端。

起初，我们只是想用无人机捕捉一些常规相机拍不到的画面。现在，我们看见了希望之光，并且为持续完善与发展科技而奋斗。我坚信，复杂、持续的科技进步和艺术表达的结合会为这一领域增加更多的乐趣。

02

Part

指　导

怎么才可以用无人机做出一些炫酷的事情呢？指导部分包含四篇文章，它们将带领你正式开始你的旅程。

最初的两篇文章介绍了无人机是如何创造出优美的航拍的——想象一下，就在几年前，这项技术只是痴人说梦。第三篇文章展示出一些狂热者是如何使用无人机来打造出古巴历史建筑的航拍图的。在最后一篇文章中，我们将要学习飞行的一些重要法则，以及如何安全操作无人机。



从航拍视频起步

如何通过多轴飞行器和无人机来拍摄精彩的视频。

——出自《Make：37》，Eric Cheng

世界上第一张航拍出自于法国摄影师 Gaspard-Felix Tournachon 之手，时间为 1858 年，拍摄地点是在一个热气球上。从那以后，对于那些没有航空预算的人来说，空中远景成为了他们心中的梦想。历史上，无数的摄影师使用过各式各样的方法在空中取景，例如使用气球、飞鸟、风筝、火箭、飞机和直升机。在最近几年，无人空中载具（UAV）在表现和可靠性方面有了大幅度的提高，渐渐融入最佳空中取景的主流。以下有五点建议来帮助你得到最好的航拍视频。



图 6-1

汤加航拍 本书中大多数照片取景于此

选择合适的 UAV

绝大多数人会选择四轴飞行器作为航拍的第一台设备，这是因为四轴飞行器的电子飞行控制系统、传感器以及 GPS 在飞行时都很稳定。在一些情况下，四轴飞行器也支持通过路径点编程来制定路线，并且保证在精确的位置得到稳定的图像。它比三轴飞行器更易操作，比六轴飞行器更加经济实惠。

在航拍领域，最流行的四轴飞行器是售价为 679 美元的 DJI Phantom，因为该款飞行器可以开箱即用（RTF），并且可以携带 GoPro 相机。Phantom 是一个很好的平台，即使对于初学者来说也很容易操控。而且，一个庞大的第三方辅助程序市场可以满足你的需求，这其中包括很多良心卖家在线销售其研发的模组。

3D Robotics 所生产的多轴飞行器也是一个不错的选择。他们提供配套元件和 RTF（其中也包括 Phantom 的竞争产品 Iris），并且经营公开资源和易操作的硬件飞行平台。



图 6-2

3D Robotics 出品的 Iris

大胆的玩家可能想要亲手建造多轴飞行器，这么做的优点是（或许）可以降低预算，并且使其满

足自己的一些特殊需求。一个 DIY 的四轴飞行器或六轴飞行器由以下部分组成：机身、飞行控制器、ESC、电机、螺旋桨、电池、无线电和接收器。全套零件的花费大约为 200 美元。当然，在航拍时，还需要一个相机。

选择合适的相机

尽管当你自己组装飞行器时，大型的相机可以携带到空中，但是我依旧推荐 GoPro 相机，因为在同类型相机中，它可以提供最好的画质。GoPro Hero3 黑色版本的重量仅为 73g，在 45Mbit/s（或 30fps）帧数下的画质为 2.7K（2704 x 1524 像素），并且内置 Wi-Fi，可供视频实时传输。

在航拍领域，GoPro 的稳定性极为出众，这意味着它可以与 OEM 和第三方设备完美兼容，例如防振器和平衡环。



图 6-3

RotorPixel 平衡环可与 DJI Phantom 机身和 GoPro Hero3 兼容

最后，当 GoPro 搭配其原装的防水壳和第三方镜头时，相机的安全可充分得到保障。

固定相机

视频画面的流畅度与飞行器感知能力直接相关，但是多轴飞行器在移动时动作不流畅。当飞行器工作时，飞行控制器会通过控制多个电机自动稳定机体。在飞行演习或者遭遇狂风时，飞行器会在立体轴线上进行调整，这是为了稳定机身，但这样会影响相机镜头的连续性。以前，飞行器爱好者会使用伺服电机来应对这种情况，但是伺服器的反应较慢，无法根本地解决这一问题。

平衡环与飞行运功

目前，带有无刷电机的平衡环为这一问题提供了可以解决的可能。平衡环只是可以保持客观物体在立体轴线上保持稳定，而电机则依旧是遥控飞行电机，但革命性地更改为出色的功率重量比（将电机线重新缠绕以增加转矩）。

常规的相机平衡环允许两种维度的旋转：翻转和倾斜。当相机底座上的传感器传送给平衡环“我想要保持水平”的信息时，平衡环控制器会将相应的信号传送给控制反转和倾斜的无刷电机。在练习过程中，无刷平衡环渐渐被飞行摄影稳定器所取代。与 GoPro 匹配的平衡环最低售价为 150 美元，该产品可以被安装在任意一种飞行平台的底部。

螺旋桨的振动和“果冻效应”

为了保持好的画质，第二个需要解决的问题就是“旋转快门”的晃动。CMOS 图像传感器被应用于大多数数码相机中，其功能是由上而下地按行扫描图像。如果在快门扫描图像过程中，机体发生了晃动，最终将会在水平位置上产生扭曲，也就是我们通常说的“果冻效应”。

无人机连续镜头中的“果冻效应”是由电机和螺旋桨的振动引起的。解决这一问题的最好办法就是平衡螺旋桨，将其中的一侧调重。这项工作可以在助调器上完成，只需用凝胶将一侧加重或者用砂纸将重的一侧磨轻（打磨螺旋桨的平面，不要打磨轴或者螺旋桨后缘——网络上有该方面的指导视频）。

调整后的螺旋桨与防振器搭配后，通常会得到的就是优美，并且没有“果冻效应”的稳定视频。

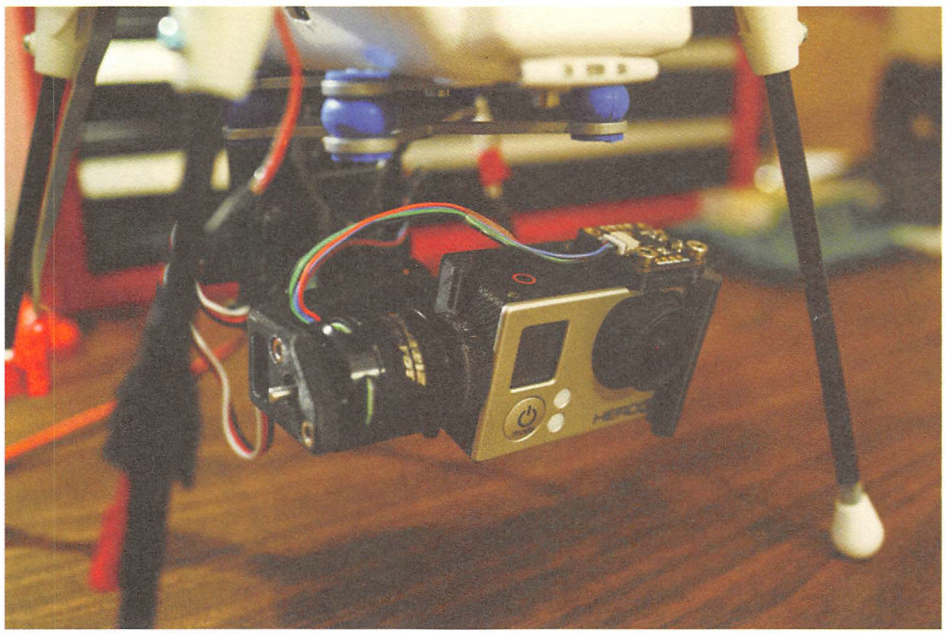


图 6-4

作者使用的平衡环底座，图中为蓝色的橡胶防振器

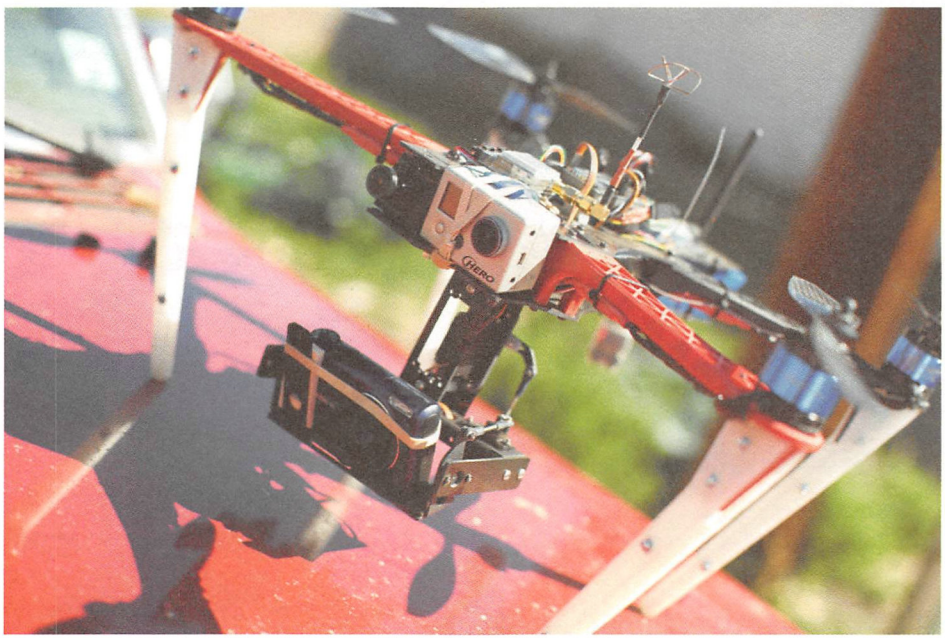


图 6-5

在无刷平衡环的控制下，机身虽然是歪的，但相机处于水平位置



图 6-6

便宜的助调器帮助你减少螺旋桨的振动

装入第一视角系统

如果你不能看到实时画面的话，一个好的视频是很难诞生的。第一视角（FPV）是通过模拟信号传输器来传送无人机的实时画面。玩家可以通过显示器或者 LCD 眼镜来观看视频，体验无人机带来的飞翔的感觉。



图 6-7

作者使用出自于 Ready Made RC 的 FPV 系统的 Phantom 无人机，在汤加的水面进行航拍

一个入门级的第一视角系统大约花费 250 美元。你也可以参考我发表的关于 Ready Made RC 5.8GHz 初始配件的全面解析，网址为 http://ech.cc/quadfpv——这其中介绍了使用 GoPro 相机也可得到第一视角。（想要了解更多关于第一视角的信息，参考第八章）

练习，练习，还是练习！重要的事情说三遍！

成为一个熟练的飞行员是得到优秀航拍作品的重中之重。在这条路上没有捷径，一味地沉迷于工作台并不会帮助你得到好的画面，到开阔的场地练习才是真理。



图 6-8

使用 Blade Nano QX 和 Syma X1 等玩具型无人机来练习操作



我建议通过使用便宜的现成玩具来练习操作，例如 Syma X1 和 Blade Nano QX 或 mQX 都是很好的选择，价格位于 36~90 美元不等。它们使用相同的控制器，但是不提供奢侈的 GPS 定位。如果你精通了小型的四轴飞行器，那么操作一个大型的四轴飞行器也不是什么难题了。

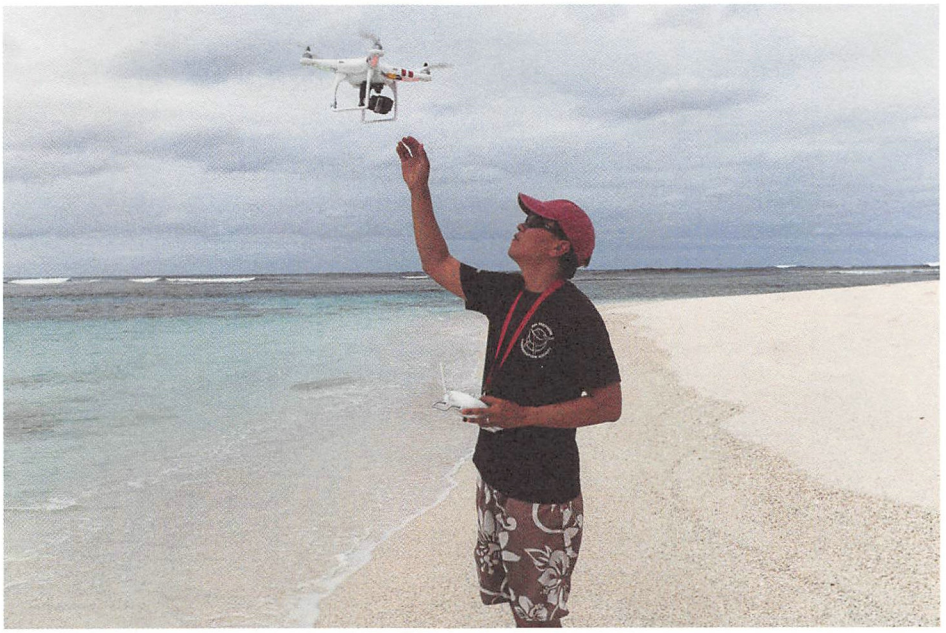


图 6-9

更多的练习 = 更好的视频，所以快去练习吧



四轴飞行器的摄影制图

古巴之旅：通过历史建筑挽回我对遥控飞行器的热爱。

——出自《Make：37》，William Grassie

在临近我的传媒艺术和计算机科学研究生课程毕业前，我发现自己对毕业论文不知所措，而且丝毫提不起兴趣。我变得毫无积极性，并且担心在毕业舞会前不能提交一份令自己满意的答案。在这期间，我的一位朋友报名了一个前往古巴的活动，这似乎是个不可错失的机会，所以我也加入其中。在这次旅途中我收获了很多，其中也包括新论文的灵感之源。

长久以来，我一直是一位遥控飞行爱好者。在我小时候，我和我的父亲一同建造了一个小型的空气驱动木飞机。这架飞机用绳子系着，并且只能沿着圆圈飞行。这个可怜的飞机在第一次飞行中就坠毁了，这也一度断送了我的遥控飞行之梦。那时，一整套遥控的设备很贵，大多数家庭都承担不起。

几年前，我重拾了我的心愿。当时，我给弟弟买了一个小型遥控直升机，直升机的做工、飞行时长和机动性使我震惊。对此，我做了一些调查，并且发现了一个全新的、更加实惠的遥控世界。这个变革主要归功于锂电池和无刷电机的出现，这两种产品取代了昂贵的、脏乱的燃油电机，并且将电子模型放到了一个更加实际的位置。就此我对遥控的痴迷一发不可收拾。

最先开始于小型的直升机，之后是大一点的组装直升机，最终变为了飞机，这也是我进行 FPV 飞行的开端。在这不久后出现了三轴飞行器和四轴飞行器，这两种飞行器实现了三维操控，并且提供了一个稳定的相机平台。

镜头回到古巴，我开始了摄影制图，并且得到了毕业论文的灵感。摄影制图是通过一系列（通常是数百张）的照片将物体以 3D 的形式展现出来。这一概念与现代摄影存在于同一时期，区别则是摄影制图使用了数码相片和软件。软件负责筛选照片，在比较中选择合适的匹配点，通过这些匹配点来计算图片的深度。

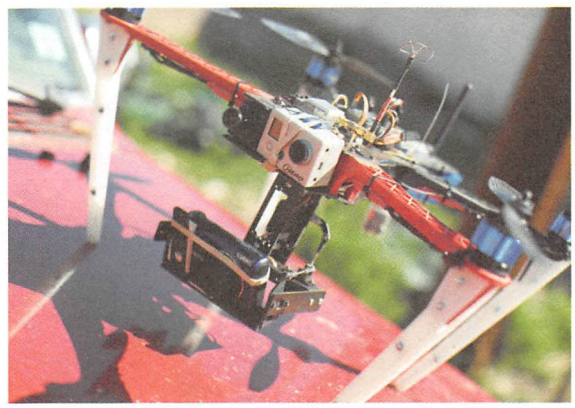


图 7-1

Grassie 的第一架摄影制图无人机

凭借我在新墨西哥州 New Mexico Highlands 大学掌握的传媒艺术知识，在古巴旅行期间，我以摄影、摄影制图和学习经验为目的。我的目标之一就是与当地的历史文献办公室取得联系，也就是负责修复哈瓦那旧城的部门。

New Mexico Highlands 大学与 Georgia O’keeffe 博物馆保持了一年的合作关系，在这期间他们一直在研究如何将摄影制图发展为一种保护遗址的工具，我们希望可以将这种简单、经济的方法分享给历史文献办公室。在与之取得联系之后，对他们的具体工作进行了相应的了解，以文件的形式向他们证明了我们方法的可行性。他们很激动，并且为我

们提供了几栋建筑与遗迹的制图模型。

这是我第一次将摄影制图用于实践，当时我内心的激动心情无以言表。然而，在记录工作进行的过程中，我们发现摄影技术只能局限于地表，这将会导致图片有空隙。当我们对圣伊萨贝尔酒店进行初步测绘时，我发现地表以上的物体都以黑洞的形式而不是 3D 模型的形式显示。

我开始思考如何通过其他方法来得到建筑物的全景。我首先想到的就是去租一个液压升降机，但是成本太高，并且在如此狭窄的空间里也不现实。直升机也是一个方法，但是成本也很高。突然，我灵光一现：我可以使用遥控多轴飞行器来拍照。就这样，我对摄影和遥控世界的迷恋就这样完美地结合在了一起。

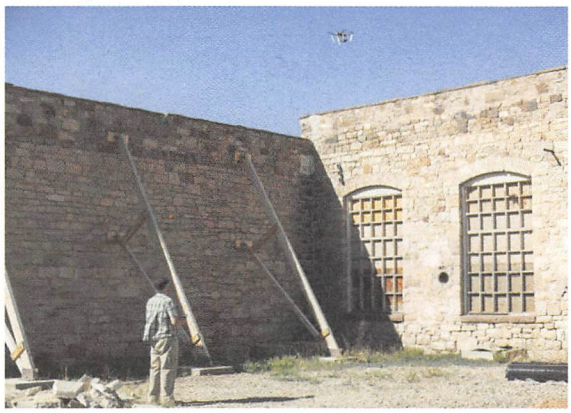


图 7-2

对圣伊萨贝尔酒店进行摄影制图

当我从古巴回来之后，便立刻投入到工作中。近期我才开始接触四轴飞行器的建造，并且曾经拥有的那架四轴飞行器已经不好用了。为了验证我的想法，我将曾经的那架四轴飞行器再次拿出来，并在初步试验中使用 GoPro Hero HD 相机摄像，被摄物则是我的房子。我大概拍了 200 张照片，最终结果不算完美，但是给了我很大鼓励，通过这次经历，我打算建立一个独特的四轴飞行器平台，专门用于制作大型建筑的摄影制图模型。

一开始，我坚信这一领域能得以在大众之间普及，并且我希望把我的想法分享给他人并且可以激励他人。最简单时，一台数码相机和一个笔记本电脑就可以制作出一幅好的摄影制图。但是随着人们对模型要求的增多，硬件设备和处理时间的花费也随之增加。

关于摄影制图的建议

1. 首选具有固定焦距的数码相机。
2. 确保照片之间的重叠部分在 60%~80%。
3. 保证在拍照时，相机与物体在同一水平线上，并且每次拍摄时相机与物体的距离相同。
4. 统一的亮度对制作出优秀的 3D 模型来说是至关重要的。
5. 使用 Agisoft PhotoScan 软件来处理照片。
6. 低质量的模型可以在常规笔记本电脑上得到，高质量的模型需要使用 128GB 内存的多 GPU 系统才能得到。
7. 小型模型通过 30~60 张照片就可以制成，大型模型（例如建筑物）则需要数千张照片才可制成。拍摄的照片越多，模型的细节就越丰富。

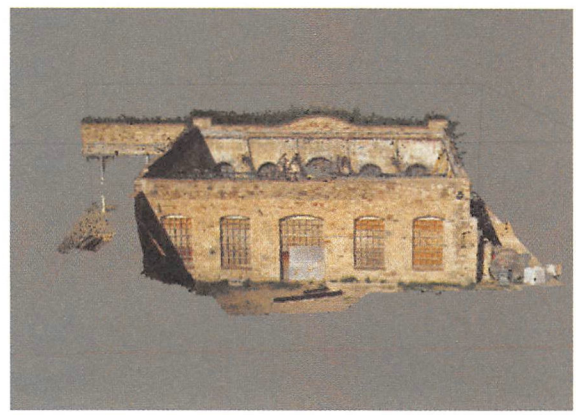


图 7-3

圣伊萨贝尔酒店最终的 3D 模型

有一次，我制作了一个新的四轴飞行器，并对其进行测试和收集数据。这架飞行器的工作性能堪称完美，我用它收集了一个历史建筑的数百张照片。

在用软件处理完照片后，得到的是一个完整的模型，就此，我推断出将这种方法用于测量大型建筑是可行的。

在与实践结合之后，我注册一了个微博，主要用于帮助那些想要探索四轴飞行器的爱好者。微博 UAV 3-D（http://uav3-d.info）中有很多关于四轴飞行器的文章，即使是新手也可以很容易地理解文章的内容。

我的配置

多轴飞行器：自定义部件大多数来自于 rctimer，APM2.5 控制主板来自于 diydrones，机身还包括 30A 的 SImonK 电子速度控制器和带有 10×4.7 英寸碳纤维螺旋桨的 900kV 电机。

相机：Canon PowerShot 相机带有 CHDK 客制固件，客制固件可以保证相机自动拍下原始照片。



FPV 基础入门

将相机固定在飞行器上，而你坐在驾驶座里。

——出自《Make：37》，Steve Lodefink

享受操控飞行器的过程是很有趣的，但是只有当你身临其境时才能真正体验到其中的乐趣，这就意味着你要将“视野”交给飞行器，就像你坐在驾驶座里一样。

在遥控的圈子里，这种方式被称为“第一人称视角”，也就是 FPV。这指的是通过机载相机和无线向地传送装置，使用户可以通过眼镜看到机上的实时画面，进而达到一种飞行员的视角。

有很多种方法可以使你的飞行器获得 FPV；以下的指导将会帮助你了解常规设备和 FPV 的最新动态。

相机

FPV 中最流行的相机就是小型的安全类型的“机载相机”，这种相机通常没有外壳，直接将镜头安装在印制电路板（PCB）上，通常装配为 480- 线的相机，但是为了更好的体验效果，最好花费 50 美元来买一个大厂商的 600- 线相机，例如索尼（Sony）公司。

相比于便宜的相机，大厂商的相机不仅会带来更高的分辨率，还会拥有更好的动态曝光。最重要的是，“宽动态范围”（WDR）的曝光补偿可以实现同时观看天空和一些地面细节，而且不会产生高光溢出和分段阴影。这不仅仅是出于审美的考虑；而是这些特点将会使你的操纵感大不相同。

安装相机

当通过无人机照相或者录视频时，保证机体的振动降到最低尤为重要。机体的振动将会使画面模糊不清。平衡所有的螺旋桨，如果有必要的话，将电机的振动降低。安装相机时需要使用泡沫塑料、橡皮筋、橡胶圈以及一系列可以吸收电机和螺旋桨振动的材料。

地面接收站

一切位于地面的装备统称为“地面接收站”，这其中包括视频接收器、天线、显示器或者接收眼镜、电源，以及三脚架、用于收纳的箱子或者背包。

地面接收站的设计很重要。一个好的地面接收站方便运输、易于安置和收纳，并且在工作过程中不会出错。

频率

市场中有多种多样的低成本微型视频 FPV 发送器和接收器。通常其频率包括 5.8GHz，2.4GHz，1.2GHz 和 900MHz。在选择频率时要考虑以下因素。

1）你住在哪里？不同的国家对无线电频谱有着不同的规定。在选择频率前先查看相关法律，以免卷入法律纠纷。例如，900MHz 拥有优秀的障碍物穿透力，但是在美国这一频率只能被用于手机。

2）在哪里飞行？不同的频率拥有不同的特性。5.8GHz/W 的飞行范围很远，但是视线以及穿透力不好，该频率无法穿过建筑，有时甚至不能穿过树木。如果你在一片开阔地飞行，5.8GHz 或许是不二选择。

3）你的控制器的频率是多少？大多数遥控无

仅供非商业用途或交流学习使用

线频率位于 2.4GHz；为了避免产生干扰，将控制器的波段与视频的波段区分开。

电源

入门级视频发送器的传播功率为 100~500mW，如果你想将飞行器的飞行范围增大，就必须买一个更贵的、更强的电源单元。与飞机不同，FPV 飞行器偏向于小范围飞行，即使飞行范围只有 10 英里的飞行半径，你还是可以享受很多乐趣。

天线

你最不想拥有的便是一个不可靠的视频连接。视频发送器自带的小型“鞭状”天线的用处不大，所以需要买一个更好用的天线。三叶或四叶的全方位“四叶草”或“艇尾挂机”天线是一个不错的选择，质量好，价格又便宜。

许多人也选择高增益（较强定位性）的二维“贴片”天线用于地面接收站，而最好的设置系统就是使用额外 2~3 根天线的“多样”设置。特殊的转换电路可以保证任意时刻的信号都是最好的。

屏幕菜单

屏幕菜单（OSD）是一个小型的视频处理软件，被安装于相机和视频发送器的线路之间。在收集来自于传感器的信息之后，将数据以图解的形式注入到视频当中。OSD 因装备与成本而受到限制，一个昂贵的 OSD 包括了指南针、GPS、气压计、遥测技术、多电源电压显示，等等。通常我们选择“先进”FPV 系统时，只需要一个 10 美元的简易 OSD，只是为了确保一件事：显示出电源的电量。掌握电源的剩余对于任何一个 FPV 飞行员来说都是很重要的。



图 8-1

镜头朝上时的画面：视频来自无人机，屏幕中显示的文字为飞行信息

仅供非商业用途或交流学习使用

视频显示

一些 FPV 飞行员使用液晶显示屏。但我认为使用配套的眼镜更为真实。市面上有许多 FPV 的眼镜，尤其是 Fat Shark 生产的眼镜。甚至一些眼镜内部安装了视频接收器。我使用的是 MyVu Crystal 的眼镜，这款眼镜通常是用于在 iPod 等播放器上观看视频。我在其上、下两端增加了泡沫塑料，并且安装了一个运动头带。在相机方面，购买时记得仔细查看分辨率。例如，当你使用一个 600- 线的相机，却搭配一个 400- 线的眼镜时，这只是在浪费预算。记住首要规则，买一副分辨率至少为 640×480 的眼镜。当你使用 OSD 时，如果分辨率过低，你就没有办法读出屏幕上显示的数字。

仅供非商业用途或交流学习使用



仅供非商业用途或交流学习使用

飞行守则

当操作飞行器时，你就变为一名飞行员，像其他飞行员一样，你有责任和义务保证飞行器的安全操 作。Drone Dudes，Jeffery Blank 和 Andrew Petersen 与你分享一些使用规则。

- 从内到外地了解飞行器，在每次飞行前确保所有部件都处于良好的状态。
- 用防火材料将锂电池包装起来，并且放在一个通风且安全的位置。了解锂电池充电时的注意事项和工作原理。充电时注意观察电池的电压。
- 选择一个避开建筑物和飞行交通管制的安全区域。思考午夜时如果无人机坠落会有什么后果。
- 事先了解例如温度、海拔以及风力等因素可能对整体飞行造成的影响。
- 检查机载自动防故障装置，并且在飞行前，针对飞行区域制定紧急情况预案。
- 与周围的人与物保持安全距离，时刻考虑计划中可能出现的意外。
- 保持起飞和降落场地的视野开阔和安全性。
- 确认机载外设没有超出有效载荷。
- 安全飞行，并时刻保持警觉。按自己的直觉进行操作，不要被外界分散注意力。记住，千万不要将控制器交给没有经过适当训练的人。
- 确保飞行器在视线之内，时刻观察飞行器的状态。不要单独依靠 GPS 或者控制器来判断位置，这些装置可能会死机，你必须做好相应的对策。当使用 FPV 模式飞行时，确保有一位监视人时刻用望远镜观察飞行器，并且向你报告飞行器的状态。
- 安装一个遥测模块是一个好主意，它可以为你实时转播飞行器的状态。在出现不正常的飞行情况时，检查电池的电压，保持适当的飞行，安全第一。
- 良好的沟通是很重要的。确保团队中的每个人都是可以依赖的，并且每个人都预先了解飞行计划。

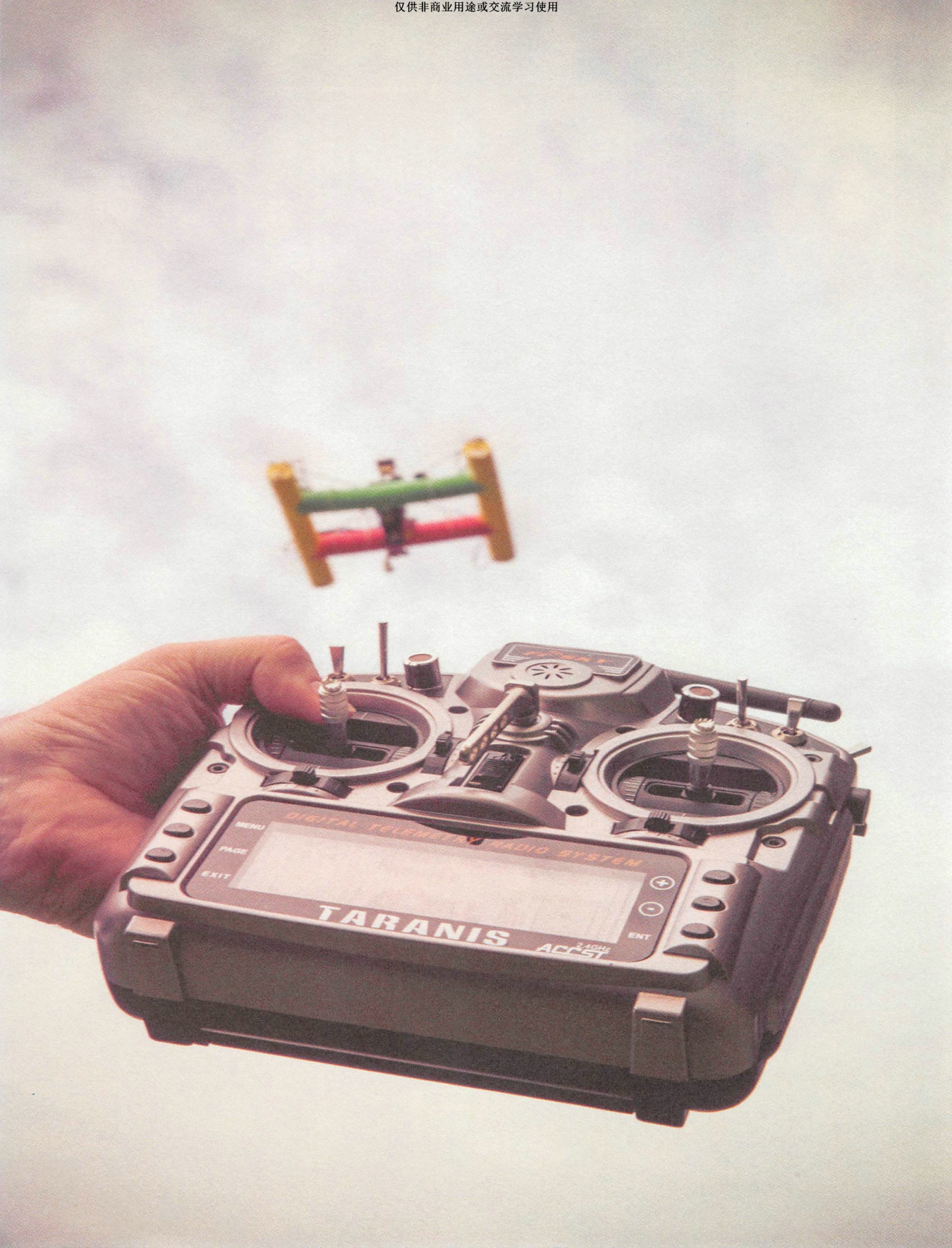
仅供非商业用途或交流学习使用

03 Part 计 划

正所谓实践出真知，只有亲身体会之后才能真正的理解。本书的最后一部分介绍了如何动手去建造自己的无人机，通过这一过程，你能体会到无人机的实感。

第一篇文章介绍了如何制作一个“傻瓜飞行器”（Noodle Copter），该产品最大限度地保证了便宜且经久耐用的特性，因为它是由泡沫塑料制成的！第二篇文章将告诉你如何建造一个完整的自主无人机，它的成本大概为 1000 美元。接下来，第三篇文章涉及一种可以在水面飞行的无人机——WAVECopter！第四篇文章回归到了本书的第一部分——讲述如何安装可以投放人道主义供给品的载货装置。最后，我们以一种全新类型的无人机作为本书的结尾：三轴飞行器——一个与四轴飞行器大不相同的无人机。

仅供非商业用途或交流学习使用



“傻瓜飞行器”

这是一个为了适应各种冲撞挑战而设计的四轴飞行机，旨在尽可能的便宜与耐用。

——出自《Make：44》，Mark Harrison



图 10-1

“傻瓜飞行器”的支撑材料为泡沫聚丙乙烯

从整体构造来看，多轴飞行器很特殊，因为它们（与直升机不同）没有可移动的部件，并且（与飞机不同）不用依靠空气动力学的机身来飞行。因此，我们发现有很多材料和建造技巧可以被应用在多轴飞行器上。

我之前看过一些“傻瓜飞行器”的照片，出于以下原因，我很想动手制作一架。

- 它很便宜。
- 对于想要尝试操作无人机的人来说，这是一个很好的练手机器。因为它真的太坚固了。
- 在空中易于识别。我的专业四轴飞行器的支撑臂过于纤细，在远处难以识别。
- 自带的灯光使其适合夜间飞行。
- 我想要知道一个框架到底能有多么简单。例如，它的电机是直接粘在支撑臂上的。
- 让我们快点动手吧，看看“傻瓜飞行器”能带来什么样的乐趣。

如果你也想像我一样进行尝试，不要忘记做这件事的出发点：即兴创作，享受乐趣，不要害怕去尝试一些新的想法。

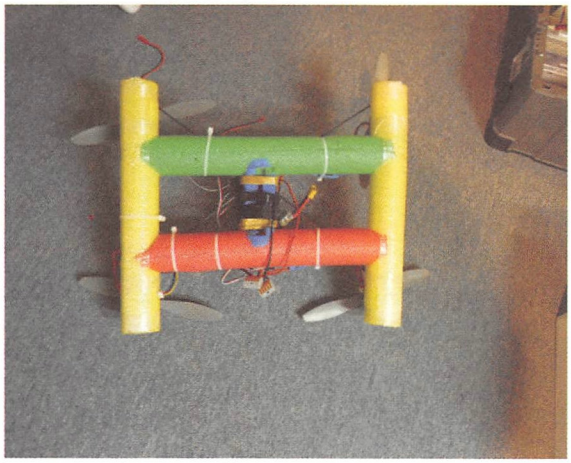


图 10-2

点亮内部光源的“傻瓜飞行器”

为了保持“傻瓜飞行器”的建造初衷，我想使用尽可能简单的材料来完成整个过程（例如，将电机直接粘在支撑臂上）。整个制作过程只用了一个晚上，并且采用的都是手边现有的材料。虽然本着尝试的态度来简化整个过程，但是最终的结果令人欣喜：飞行器可以流畅地使用，并且非常适合对其感兴趣的人体验其飞行过程。

第一步：将支撑臂剪切为合适的长度

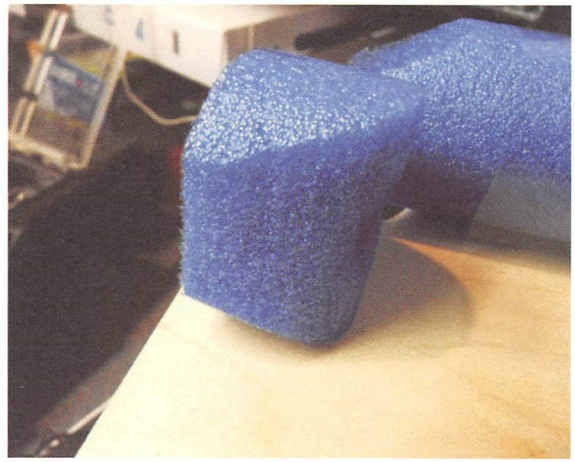


- 将泡沫材料切成 15.5 英寸的 4 段和 5.5 英寸的 1 段。4 段分别为前后支撑臂（图中黄色部分）和左右侧支撑臂（图中红色和绿色部分）。最短的那段为电池底座。

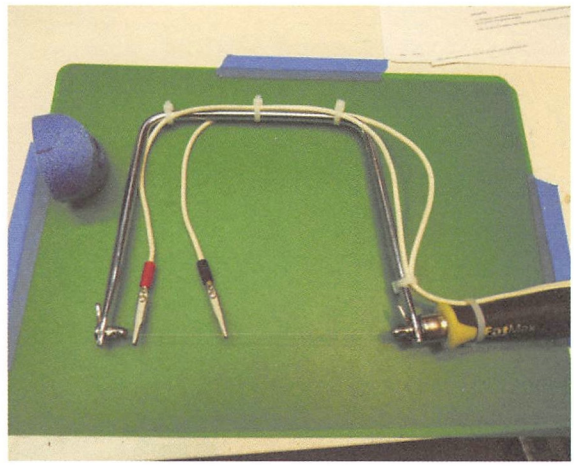
第二步：修剪左右侧支撑臂



- 侧支撑臂将会被粘在前后支撑臂上，所以我们需要将侧支撑臂的两端修剪为圆弧状。使用模具将会最大限度地简化这一过程。使用孔锯或弓锯在薄胶合板上锯出一个 2 英寸的圆，沿着木板的边缘进行操作，这样你就会得到一个半圆。



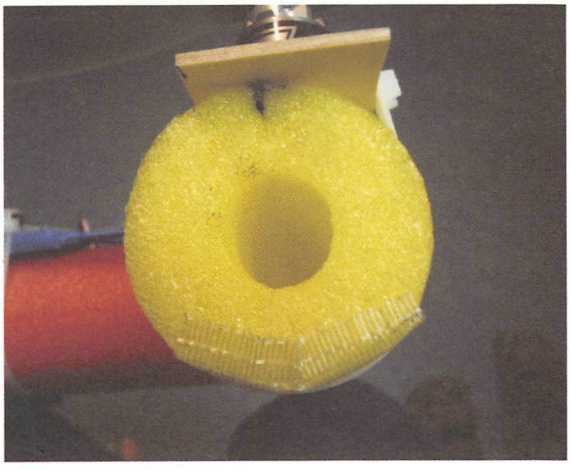
- 拿出侧支撑臂和电池底座，将每段的两端都切出一个半圆，并确保每段的边缘都保持一致。当拼接时，保证在连接处没有空隙。为了找到最完美的连接点，我在胶合板上进行了多次切割。你也可以在粘连时减少空隙，但是如果空隙过大，就尝试重新修剪边缘。



第三步：加固支撑臂

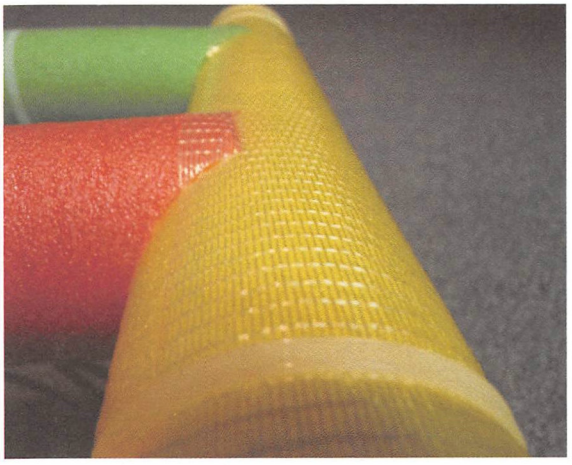


- 在 4 根支撑臂顶端切割 1/4 英寸的凹槽，在切割过程中，注意不要切到中间的空心部分。将两根 12 英寸的碳纤维棒分别放入左右侧支撑臂中，再将两根 15 英寸的碳纤维棒放入前后支撑臂中。最初我想使用玻璃纤维，但是这种材料不好找。当然，你也可以用竹条来代替。

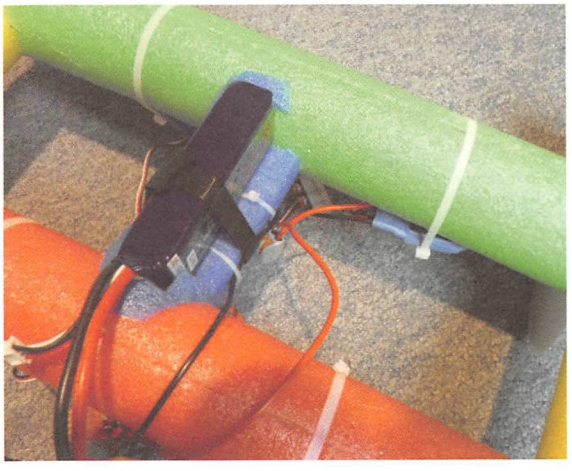


- 将胶水挤入凹槽与碳纤维棒之间，确保没有干燥的区域。这一步很重要，空隙的存在会使支撑臂弯曲。最后等待胶水变干。
- 我使用的是 Beacon Foam-Tac 胶水，这种胶水表现出色。对于胶水的要求就是保证其不会溶解。如果你不确定胶水的性能，先使用其他物品对胶水进行实验。

第四步：粘连支撑臂

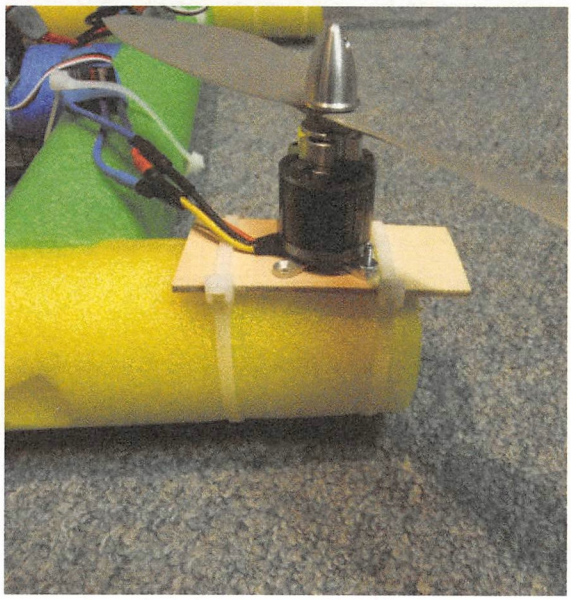


- 在前后支撑臂距两端 5 英寸的地方做好标记。将左右侧支撑臂分别粘在做标记的地方。将胶水填满整个弯曲部分，尽量保持粘连处没有空隙。
- 将电池底座粘在左右侧支撑臂的正中间。



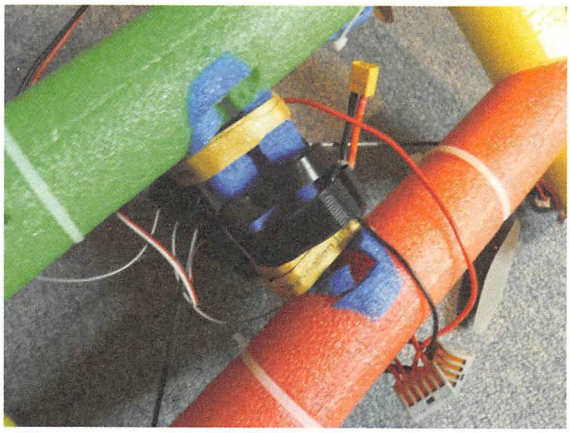
- 在所有的胶水都干后，机身的组装就完成了。检查所有的连接处，确保其结实牢固。机身必须保证相当坚固。
- 用胶带将 4 个支撑臂底部粘好，保证其光滑平整。这样，胶带与之前安装的碳纤维棒搭配，就可以最大限度地阻止机体弯曲。

第五步：安装电机



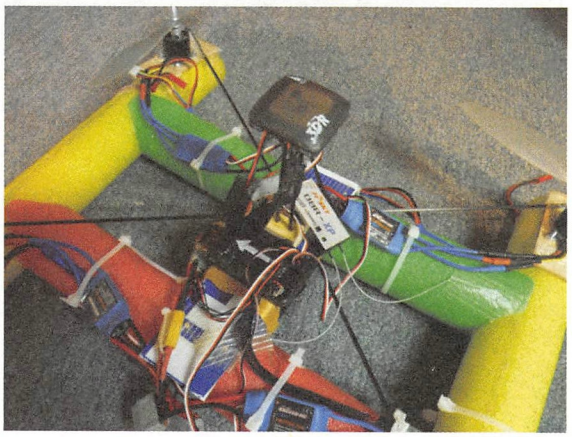
- 以方便安装电机为出发点，切取 4 块与电机尺寸匹配的胶合板。就我而言，1 或 3.5 英寸的规格均可。最初，我使用的是束线带，但是它们会嵌入支撑臂，并且不能时刻保持电机的水平。最好的选择是捆扎带。
- 分别将 4 个电机安装在前后支撑臂的两端，用捆扎带固定，使其绕支撑臂一圈。确保电机位于水平位置，如有不平，可手动进行轻微调整。

第六步：安装中心组件



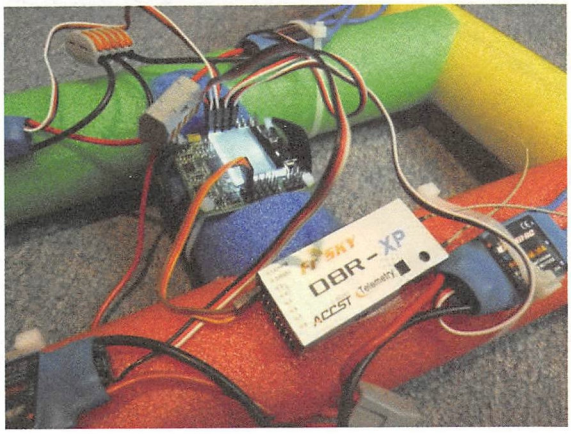
将电池底座的顶端修剪掉一部分，得到的空间应该恰好可以放入一个 3S/2200 mAh 的电池。之后再将飞行控制主板热粘合到聚丙烯塑料片上（任意平整的塑料片皆可），然后用两个魔术贴分别将聚丙烯塑料的两端固定到电池底座上，最后再用一个魔术贴将电池固定。

第七部：飞行电子元器件

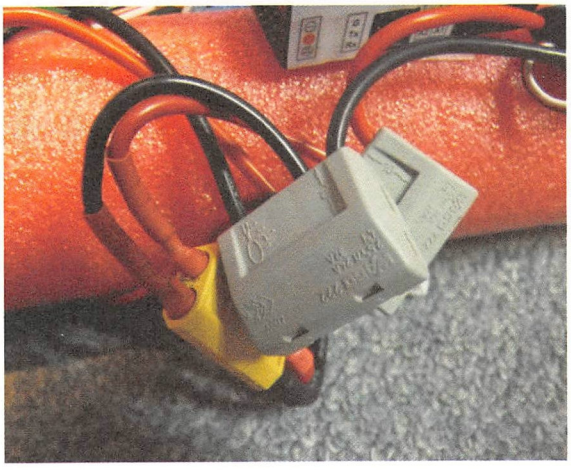


- 安装飞行电子元器件的过程和安装四轴飞行器的过程相同。你可以参考 Chad Kapper 的详细解说。Ardupilot Mega 主板是我青

睐的一款，但是我也对 KK2 和 Flip 主板进行了测试，它们的性能也很好。请注意，我粗暴地将所有部件连接、热粘合和绑定在框架上。之所以没有过多的修饰工作，是因为我希望以最快的速度完工。说实话，在朋友们嘲笑完它粗糙的外表后，我可能会将它美化一下。



如果再做一个机身，我会将所有的线整理好，要么将线穿过支撑臂的中空处，要么像碳纤维棒一样粘在里面。有趣的是，尽管从上面看机身时，它的确很丑；但是在飞行时，由于是从下方观看，所以它的美观度还是可以的。总之，飞得越远，它就越耐看。



- 因为我的手边没有配电板，所以我用了 Wago 连接器来代替。

第八步：添加灯光



- 添加灯光这一步很简单。LED 条状灯可以完美地放入支撑臂的中空处。我通过额外的电源来给灯供电，从而避免再从主电源上再分出一条电线。



- 然而我犯了一个大错。我在支撑臂上为额外电源切了一个凹槽，这样搭配看起来很美观，但是导致了支撑臂的弯曲，从而降低了坚固

性。我在电机胶合板的位置多安了几根碳纤维棒，并且以 X 形固定来解决这一问题。

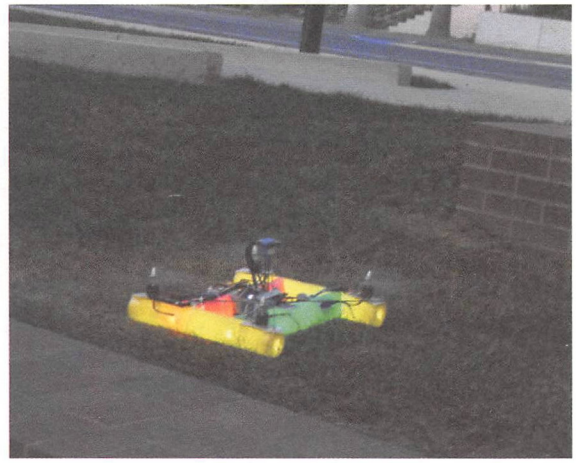


- 在夜晚，黄色的支撑臂要比红色和绿色的支撑臂亮得多。所以我将用 2S 电池为黄色的支撑臂供电，用 3S 电池为红色和绿色的支撑臂供电。

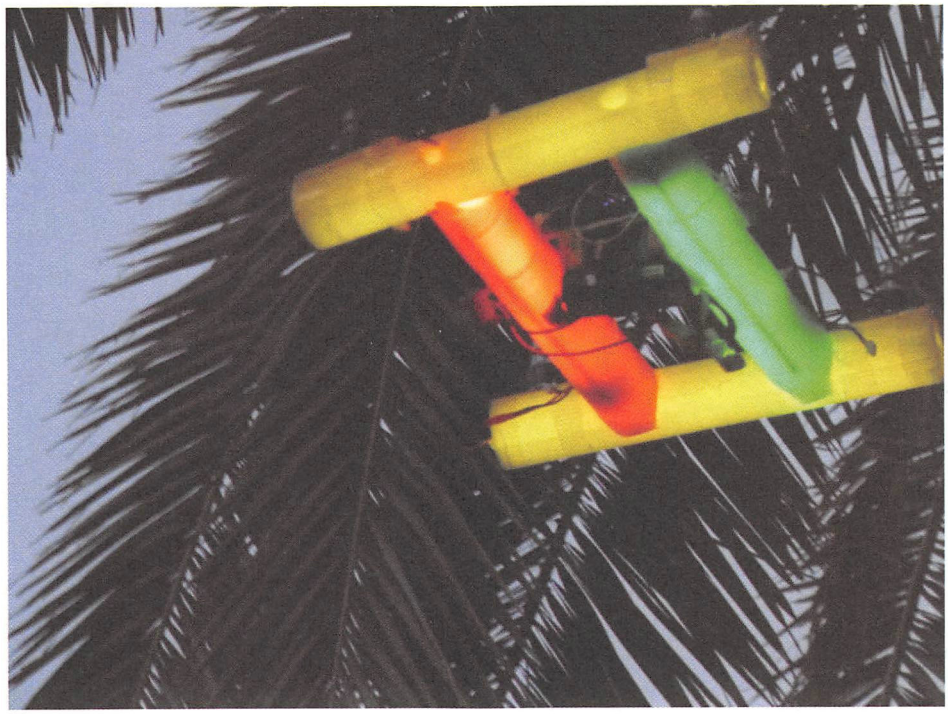
第九步：飞行测试以及更多内容



- “傻瓜飞行器”的运行很稳定。支撑臂越粗，受风力的影响就越大，但是“傻瓜飞行器”在大风中的表现依旧良好。在初次飞行中，我们使用了 15 英里 / 小时的风力：bit.ly/1WO7qSL。



- 还有很多关于“傻瓜飞行器”的文章。你可以通过访问以下网址来得到更多信息：bit.ly/1q5S3e0，bit.ly/1T9mhrQ 和 bit.ly/1pLSV7T。更多关于“傻瓜飞行器”和其他 East Bay RC 项目，请访问：eastbay-rc.blogspot 和 bit.ly/1pLT6zS。现在有越来越多的文章介绍如何制作和飞行无人机，同时详细地介绍了其内部的电子元件，这些宝藏等待着你的发掘。





手工版 UAV

四轴飞行器本质上分为两种：“+”形结构和“X”形结构。在这里我们决定制作一架“X”形飞行器，这样就可以保证机载相机的前方视野。

——出自《Make：37》，Chad Kapper

我们将全程详细介绍，从如何构建机身，一直到怎样通过 ArduPilot 来获得自动飞行能力。一旦成功，你就可以随心所欲地对无人机进行编程，例如：让无人机按照一系列的路径点飞行，并进行拍照。

所需时间

1 周

花费

机身

30~60 美元

航空电子元器件

500~800 美元

材料

机身材料：

- 管夹，1½ 英寸（4）
- 方形木钉，1/2 英寸 x 36 英寸（2）
- 机械螺钉：平头 M3×6mm（8）；M3×20mm（12）；M3×25mm（4）
- 六角螺母，M3（8）
- 平垫圈，M3（4）
- Thread-locking 螺纹胶
- 液体绝缘带
- 聚碳酸酯板，0.093 英寸 x 8 英寸 x 10 英寸
- 扎带，4 英寸（100 根装）
- 可弯曲 PVC 耦合器，1¼ 英寸左右
- 铝棒，1/8 英寸 x 3/4 英寸 x 36 英寸
- 魔术贴（带钩），1/2 英寸 x 8 英寸（2）
- 魔术贴，3/4 英寸 x 18 英寸
- 密封条、泡沫材料，3/8 英寸 x 12 英寸
- 双面胶，1 英寸 x 5 英尺
- 绞合绝缘电线、12 AWG、12 英寸红色和 12 英寸黑色

航空电子元器件材料：

- 铜制渐缩管，1 英寸 ~1/2 英寸
- 陀螺电机（2），iPower 2208-80
- 平衡控制器，iFlight V3.0
- 飞行控制器，3D Robotics Ardupilot Mega 2.6
- GPS 模块，3D Robotics LEA-6H
- 遥控信号传送器，频道数 >5
- 遥控信号接收器，频道数 >5
- 电机（4），850kV AC2830
- 螺旋桨，Turnigy 9047R SF（2）
- 螺旋桨，Turnige 9047L SF（2）

- 电子速度控制器（4）
- M/M 伺服导线，10cm（5）
- 相机，GoPro Hero3 白色版本
- 锂电池，2200mAh，3S，20C
- 电量显示器、APM 电源模块、XT60 连接器

工具

- 带有打印机的电脑
- 直尺
- 塑料刻刀
- 电钻与钻头：1/8 英寸，3/16 英寸，1/4 英寸，5/16 英寸，3/8 英寸
- 木锯
- Phillip 螺丝刀：#1 和 #2
- 老虎钳
- 手钳
- 钢锯
- 电烙铁和焊锡
- 剪刀
- 铅笔
- 锉刀
- 刻刀

图 11-1 是手工版 UAV 的全部线路排版图。我们将一步步地带领你完成该产品的制作。

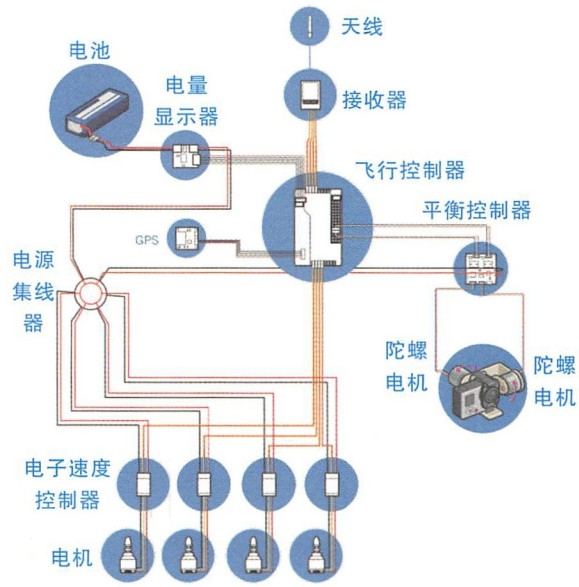
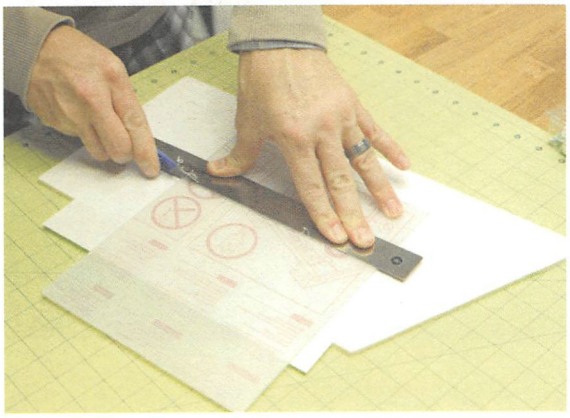


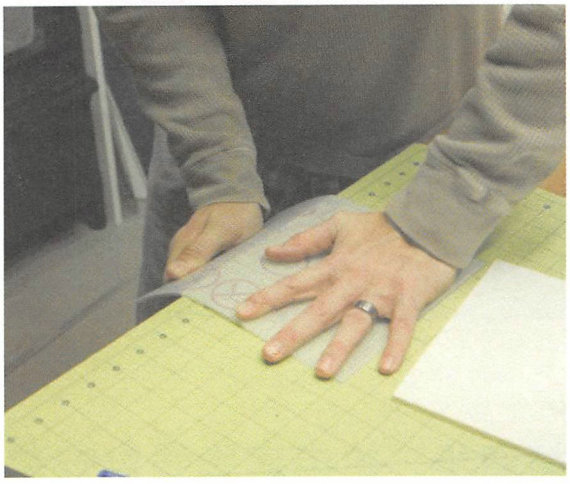
图 11-1

手工版 UAV 的线路排版图

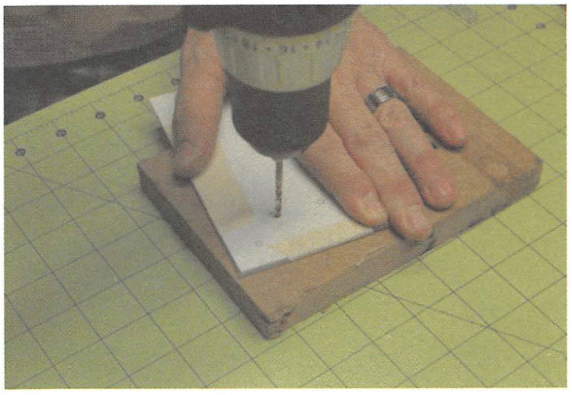
第一步：制作机身



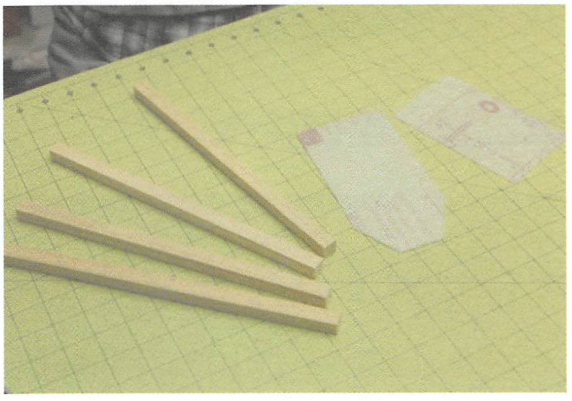
- 机体的中央集线器由两片聚碳酸酯板组成。在 http://makezine/the-handycopter-uav 上下载切割和钻孔的模板，下载时要下载原图，然后将其临时粘在聚碳酸酯板上。



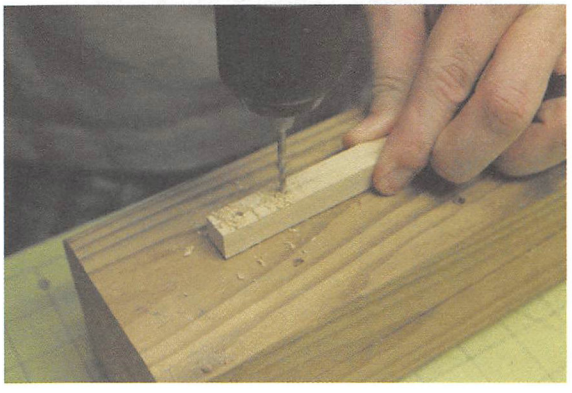
- 使用一个塑料刀在聚碳酸酯板上做好标记，并沿标记裁剪出需要的形状，然后在相应位置钻出 1/8 英寸的洞。



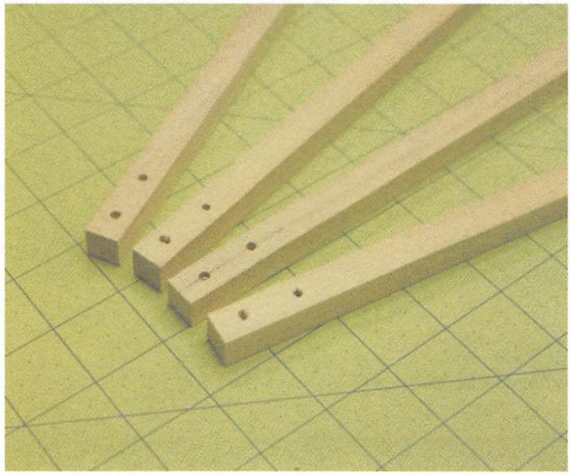
第二步：制作支撑臂

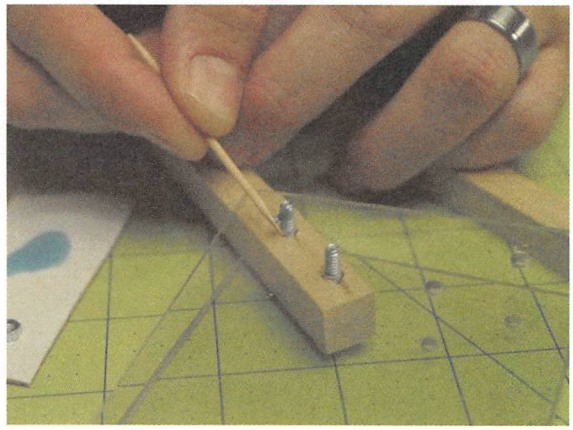


- 锯出四根 10~11 英寸长的木钉。支撑臂越短，机体就越敏捷；而支撑臂越长，机体就越稳定。



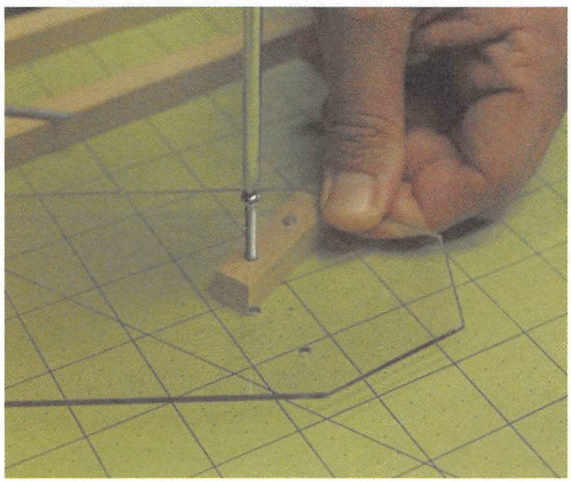
- 在距离支撑臂一端 6mm 和 26mm 的位置分别钻一个洞。



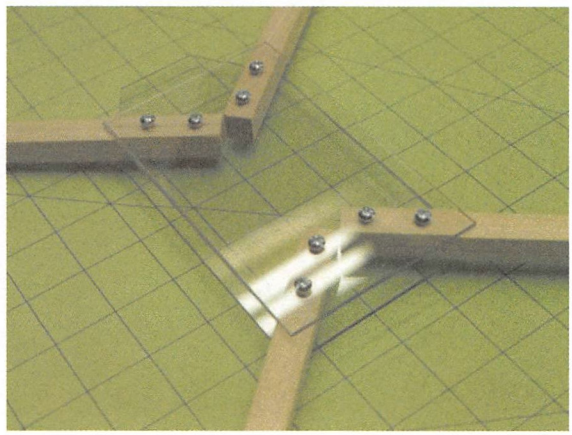


- 如果支撑臂可以与中心部分完美匹配，将外部的螺钉用 Thread-locking 胶水固定好，安装螺母并固定。

第三步：组装机身



- 将支撑臂放在两片聚碳酸酯板之间，并且将钻孔对齐。然后用 4 根 M3 × 25mm 的螺钉穿过位于内部的孔，再用 4 根 M3 × 20mm 的螺钉穿过位于外部的孔。

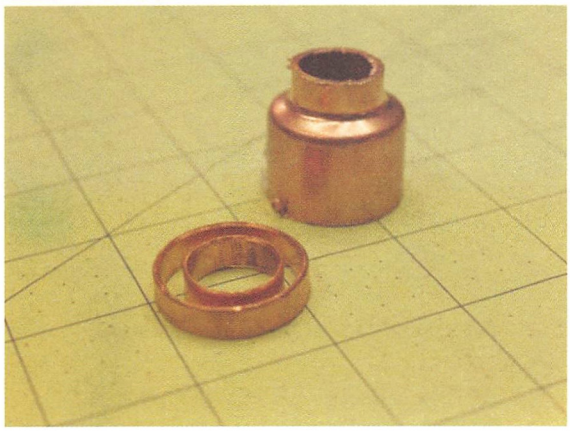


暂时将内部螺钉的螺母调松一些。

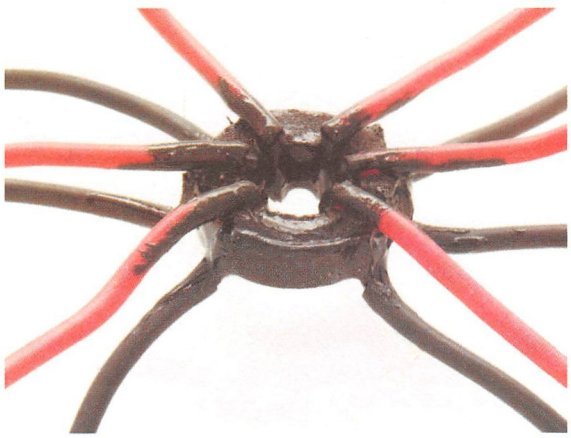
第四步：给电源集线器安装线路

- 电源集线器由 6 部分组成——4 个电子速度控制器（ESC）、电源模块和平衡控制主板。
- 首先，切断 APM 电源模块中 XT60 连接器的阳极。然后将每根线的一端剥去 1/4 英寸的绝缘皮，无论红黑，并用焊锡将被剥去的

一段线焊上。在铜制渐缩管的两端分别锯一个 3/8 英寸宽的圆环，并将粗糙部分用锉刀整理平滑。

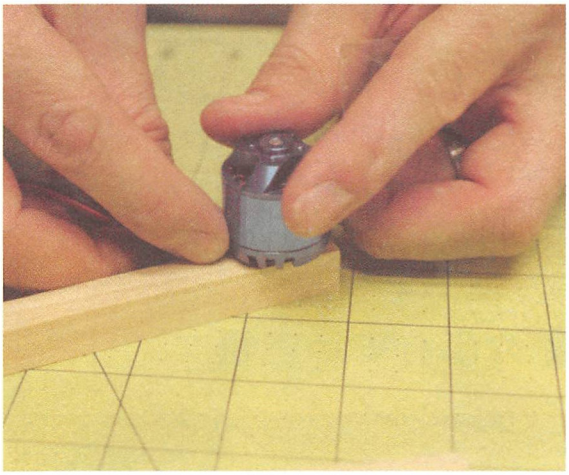


- 将 6 根红色阳极焊接到较小的圆环上，将 6 根黑色阴极焊接到较大的圆环上。用 3/8 英寸的泡沫密封条将较小的圆环包好，并将较大的圆环套在较小的圆环外。

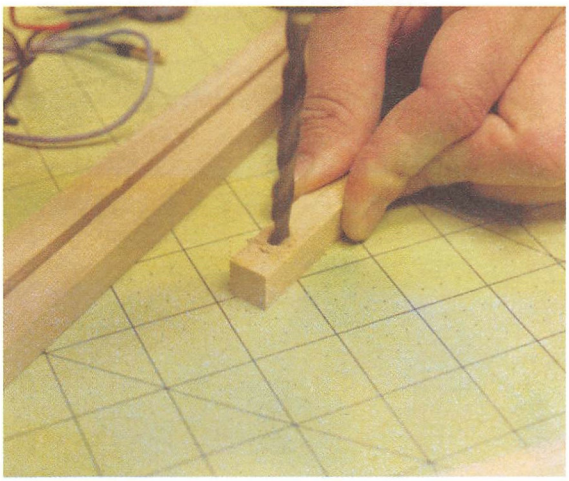


- 最后，用液体绝缘带将整个环涂好，以达到绝缘的效果。
- 为电机和电子速度控制器排线的过程将会很无趣。在商店购买配件很方便，但是会占用额外的空间和重量。我更喜欢在家里用铜管手工制作，这样不仅坚固，而且整齐。

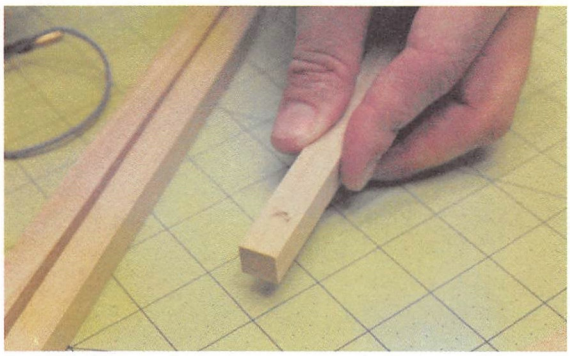
第五步：为电机轴承留出位置



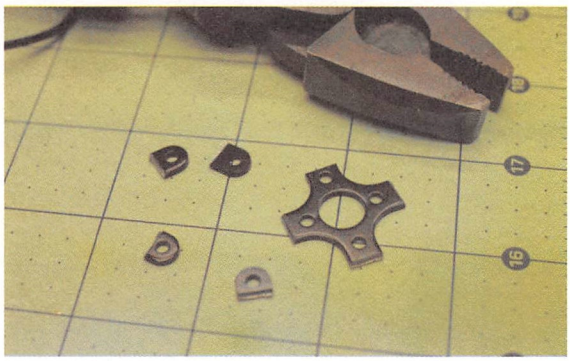
- 在这里，我们为你展示如何用普通管夹来制作起落架。你也可以使用便宜的起落预制组合 / 可大幅度简化起飞过程的电机装置。



- 如果你选择自己制作，你需要直接将电机安装在支撑臂上。在每个支撑臂上标记并钻出一个浅坑，这是为了确保电机轴可以自由转动。浅坑的直径大约为 5/16 英寸。



第六步：安装电机



- 将电机支架的边缘剪去，使用两根 M3x 20mm 的螺丝将电机固定在支撑臂的尾端。

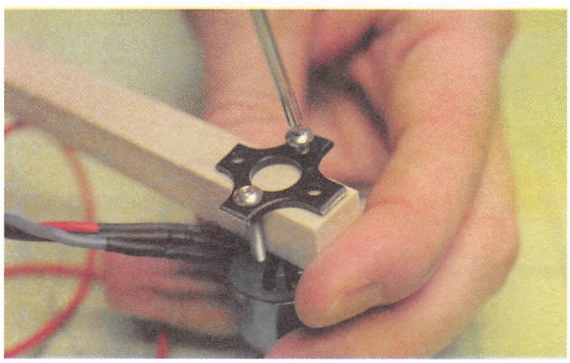
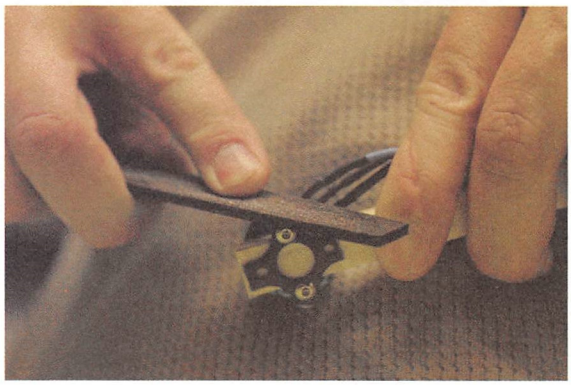


图 11-2

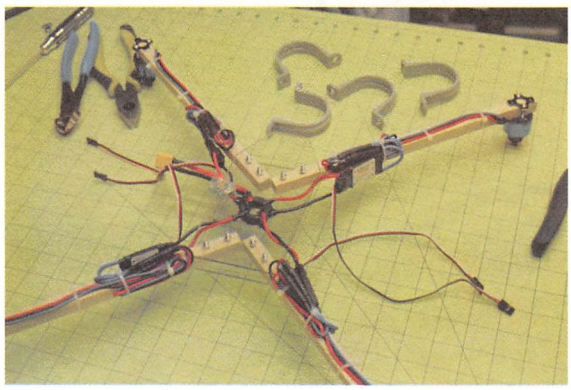
每个电机只需要用两个螺丝孔，所以制造商的产品将会削减两个孔

- 在螺丝锁紧之后，检查电机轴能否自由转动。如果不能，再次检查浅坑的凹陷程度是否足够。

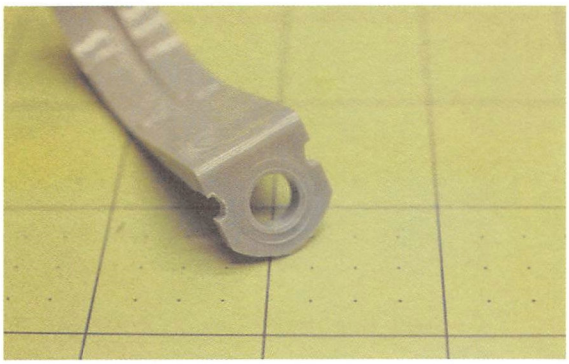


- 使用锉刀将电机支架的边缘修磨光滑。

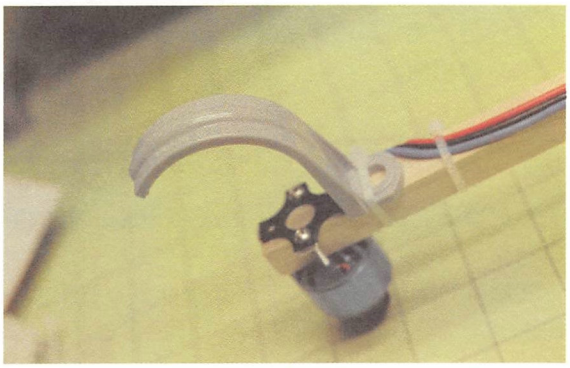
第七步：安装着陆装置



- 调整电源集线器的位置，并将四个电子速度控制器的导线与其连接。如果你在同一个制造商那买了电机和电子速度控制器，那么它们内部会有预安装的“bullet”连接器。如果这样，只需要简单地将电机和电子速度控制器连接好，并将多余的线放到支撑臂的下面。或者，你也可以直接将电机的线焊接到电子速度控制器上，这样整体就会显得非常简洁。最后，确认好电机导线、电子速度控制器的导线和其他多余的导线都用扎带绑在支撑臂上。



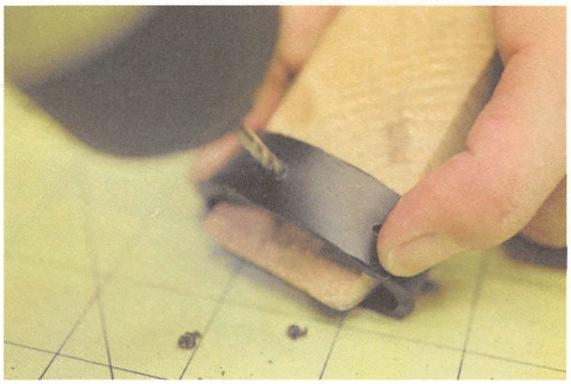
- 用手钳将四个管夹的一端剪掉，得到“J”的形状。用锉刀将粗糙的边缘磨平，再将管夹带有孔的两侧磨出两个小凹槽（如上图所示）。将“J”形管夹放到电机底座的旁边，并用扎带固定。



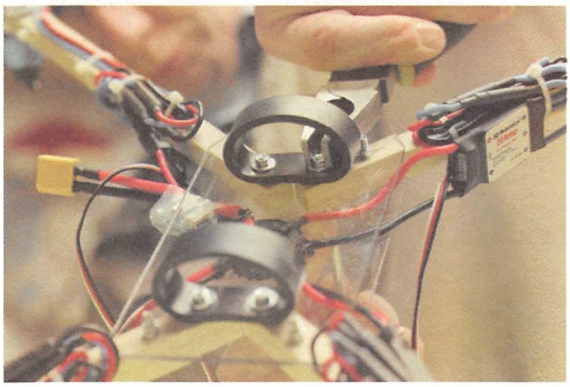
第八步：安装防振装置



- 将 PVC 耦合器的软管卸下来，保留剩下部分。用刻刀从软管身上切两个 3/4 英寸的圆环。将圆环对齐位于机身靠内的螺丝，用拇指紧紧按住以标记。

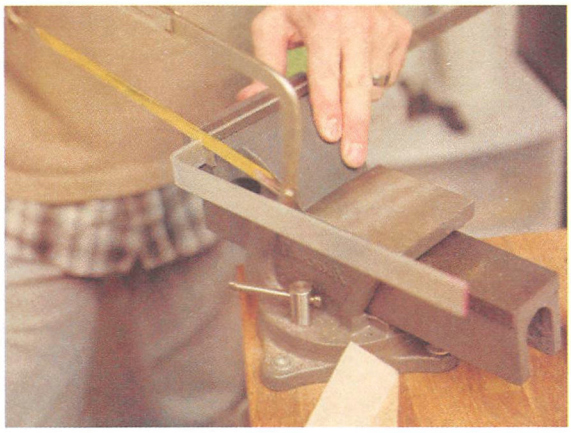


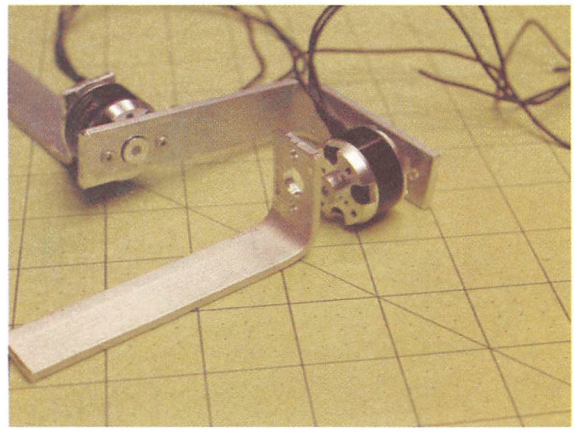
- 在标记处钻出直径为 1/8 英寸的圆孔，将圆环的孔穿过机身靠内的螺丝，用 M3 平垫圈和螺母进行固定，并确保螺丝锁紧。
- 平衡环和电池座通过两个橡胶环被安装在机身上，这一举措将会减少因螺旋桨震动而对相机造成的影响，同时也为安装平衡控制主板留出了一定的空间。



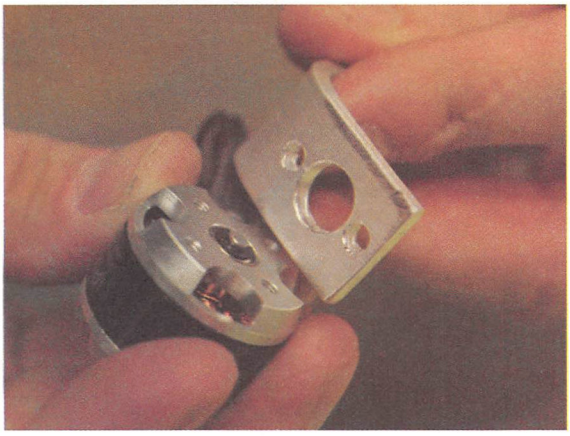
第九步：安装相机 / 电池底座

平衡环和电池架由三个“L”形支架组成。我们通常称它们为搁板支架、转动支架、俯仰支架。





- 将长度为 36 英寸的 1/8 英寸 × 3/4 英寸的铝棒锯为 18 英寸长的两段，然后将其中一段再锯为 9 英寸长的两段，一共得到三段。按照之前的模板将三段铝棒进行弯曲，弯曲半径为 3/8 英寸（缓慢弯曲，以防铝棒折断）。弯曲完成后，按照样板锯成合适的长度。



- 在搁板支架和俯仰支架较短的一端上钻出三个孔，并在转动支架的两端都钻三个孔。孔的要求如下：所有孔都位于中心线上，两侧的孔直径为 1/8 英寸，间隔 9.5mm，最外侧的孔距支架边缘 3mm，中间放置电机转轴的孔直径为 3/8 英寸。

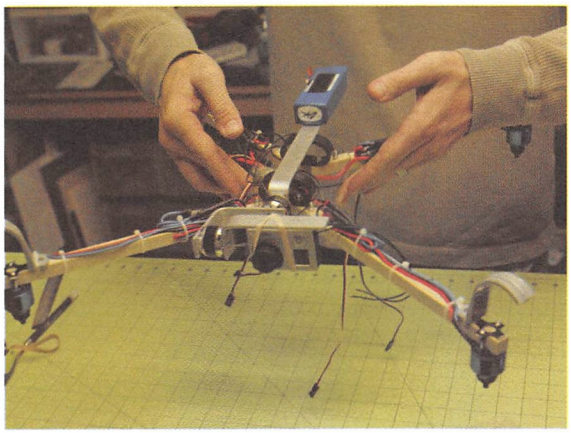
- 使用两根 M3x6mm 的螺丝将陀螺电机固定在搁板支架上，再用两根同规格螺丝将其固定在转动支架较长的一段上。
- 最后，将另一个陀螺电机安装在转动支架的另一端，再固定在俯仰支架上，操作与上一步相同。

第十步：安装相机与电池

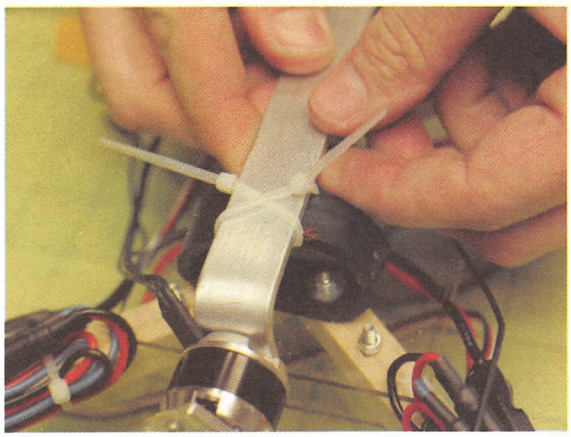
在设计之初，我使用一个 3S 2200mAh 的锂电池和 GoPro Hero3 白色相机来平衡机身。如果你使用其他配件，在安装后必须保证重心位于机身的正中央。以下内容将会告诉你如何平衡机身。



- 将机身正反颠倒，通过机身底部的防振环来调整相机、支架和电池的位置。将整个装置前移或者后移，直到可以用指尖在机身各个面的中心位置保持平衡。



- 在调整时小心移动平衡环，以保证相机在各个角度保持平衡。将双面胶的一侧的黏力减弱（可通过在衬衫上磨蹭）。将带有黏力的一面粘到俯仰支架上，用黏力弱的一面接触相机，调整相机的位置，直至找到平衡点。在找到平衡点后，用两个魔术贴或者胶带将相机固定。



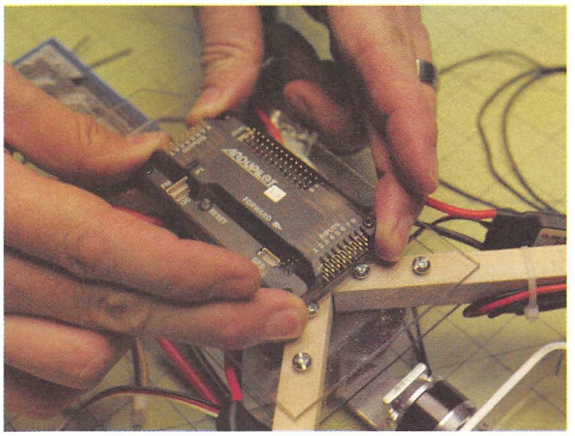
- 当你成功找到重心之后，将搁板支架用两个扎带固定到防振装置上。用魔术贴将电池安装在搁板支架上，再用一个魔术贴将电池与搁板支架缠起来，以作双重保险。



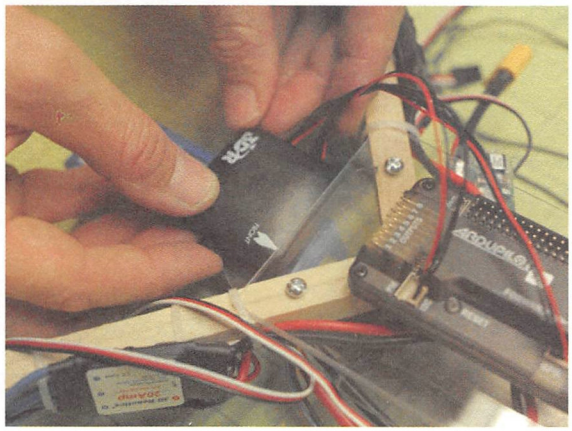
小贴士

即使 GoPro 相机足够坚固，或许你还是需要在试飞过程中使用一个与其同尺寸、同重量的相机进行试验。

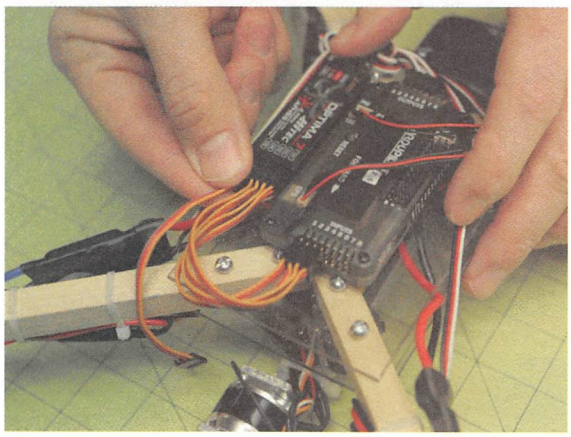
第十一步：安装航空电子设备



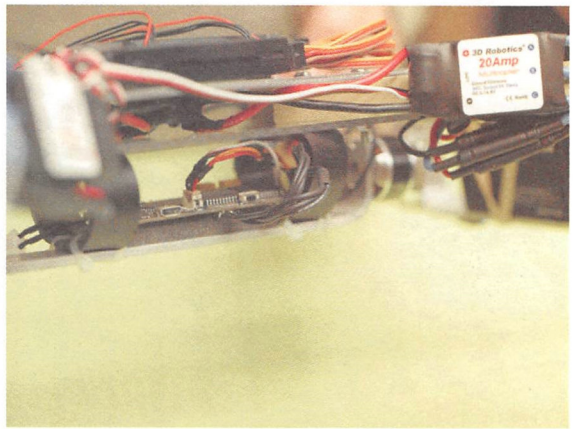
- 在安装之前，将飞行控制器、接收器和其他组件进行排版。当你对自己的排版满意时，用双面胶将组件粘到机身上。在网上下载排线的具体操作过程。
- 安装飞行控制器。在这一部分，我们使用的是 3D Robotics 的 ArduPilot Mega（APM）2.6，这之中包括一个加速器，整个过程必须按照机身的规格来安装。使 APM 盒子上箭头的方向与机身前面的方向一致，用双面胶进行粘连。



- 在安装 GPS/ 指南针组件时，这一部分可以与机身后部完美结合，而且安装时也要注意箭头方向。将组件粘好，并将导线插入 APM 的“GPS”插口。
- 从右侧开始，按顺时针方向（从上方看），依次将电子速度控制器的导线插到 APM 输出口中的 1，4，2，3。
- 将接收器安装在 APM 的旁边，并用双面胶固定，将频道 1~5 插到 APM 相应的插口处。



第十二步：安装平衡控制器

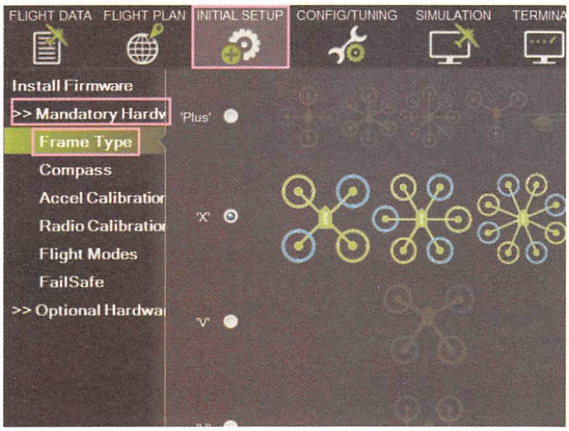


- 平衡控制器由两块主板构成：较大的控制主板和较小的 IMU 感应单元。控制主板位于搁板支架上面，被安置在防振装置里面。



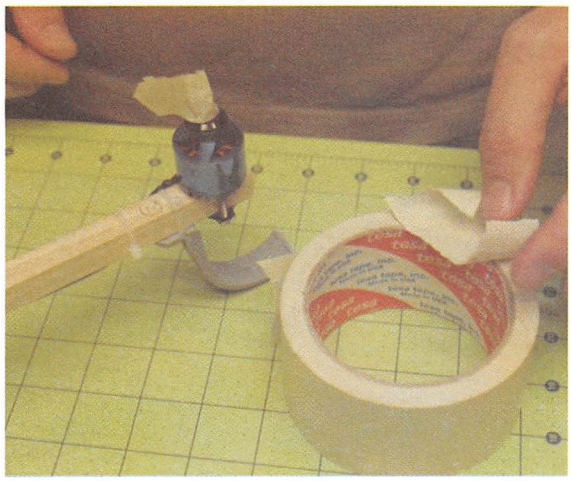
将搁板支架的上端用泡沫密封条隔离，以防主板上的焊接点与铝接触而造成短路，然后用扎带将两部分固定在一起。当 IMU 探测方向时，必须与相机位于同一平面；用双面胶将其粘在俯仰支架下面，并将导线与控制主板相连，然后将每个陀螺电机的三根导线与控制器相连。最后，确保所有导线都用扎带固定好，并且可以使防振装置自由活动。

第十三步：安装软件

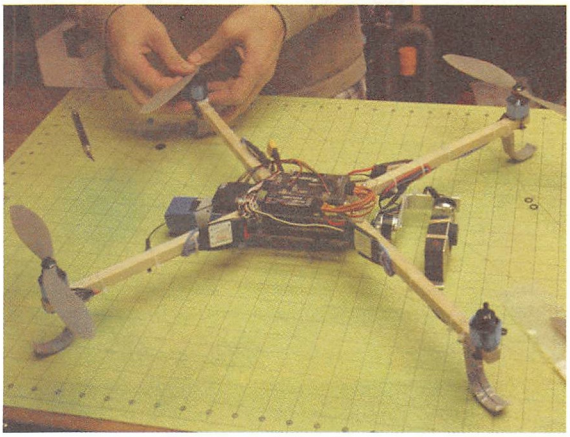


- 在飞行之前，飞行控制器、ESC 和平衡控制器都需要进行校准和安装。相比设备自带的网络教程，我更推荐针对性的指导：http://makezine.com/the-handycopter-uav。

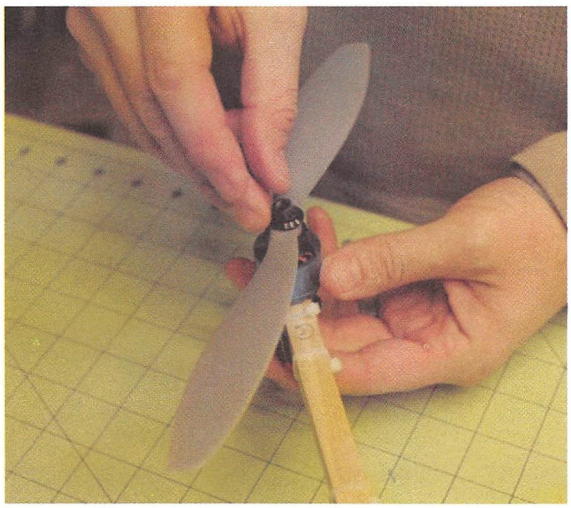
第十四步：安装螺旋桨



- 在安装螺旋桨之前，将一块胶带粘在电机轴上，这样就可以更明显地看出电机的转向。从上方看，电机 3 和电机 4 应该沿顺时针方向旋转，电机 1 和电机 2 则沿逆时针方向旋转（参考第三章）。如果有的电机的转向是反的，改变 ESC 导线的连接即可。
- 保持平稳飞行最重要的因素就是平衡螺旋桨！有许多方法可以达到目标，但这之中最简单的就是打磨偏重的扇叶，直至在水平轴上可以保持稳定。（在打磨扇叶时，只打磨平缓的位置，不要触碰扇叶边缘和后缘。）



- 当扇叶平衡后，将它们安装到电机轴上，并用螺母旋紧。通常，我们会使用两个常见的“牵引式”螺旋桨和两个相反的“推进式”螺旋桨。电机 1 和电机 2 安装牵引式螺旋桨，而电机 3 和电机 4 则安装推进式螺旋桨。（如果你用的不是 APM 飞行控制器，螺旋桨的配置方式或许会不同）。当安装完成后，在每个电机所在的支撑臂上标注螺旋桨的旋转方式，以方便辨认。
- 确认螺旋桨处于平衡状态，各个部件都安装紧凑，并且螺旋桨、陀螺仪和控制器没有安反。





警告

如果你想要改变电机的转向，确保只是将电机的导线反接，而不是 ESC 电源的导线。永远不要将 ESC 的电源线反接。

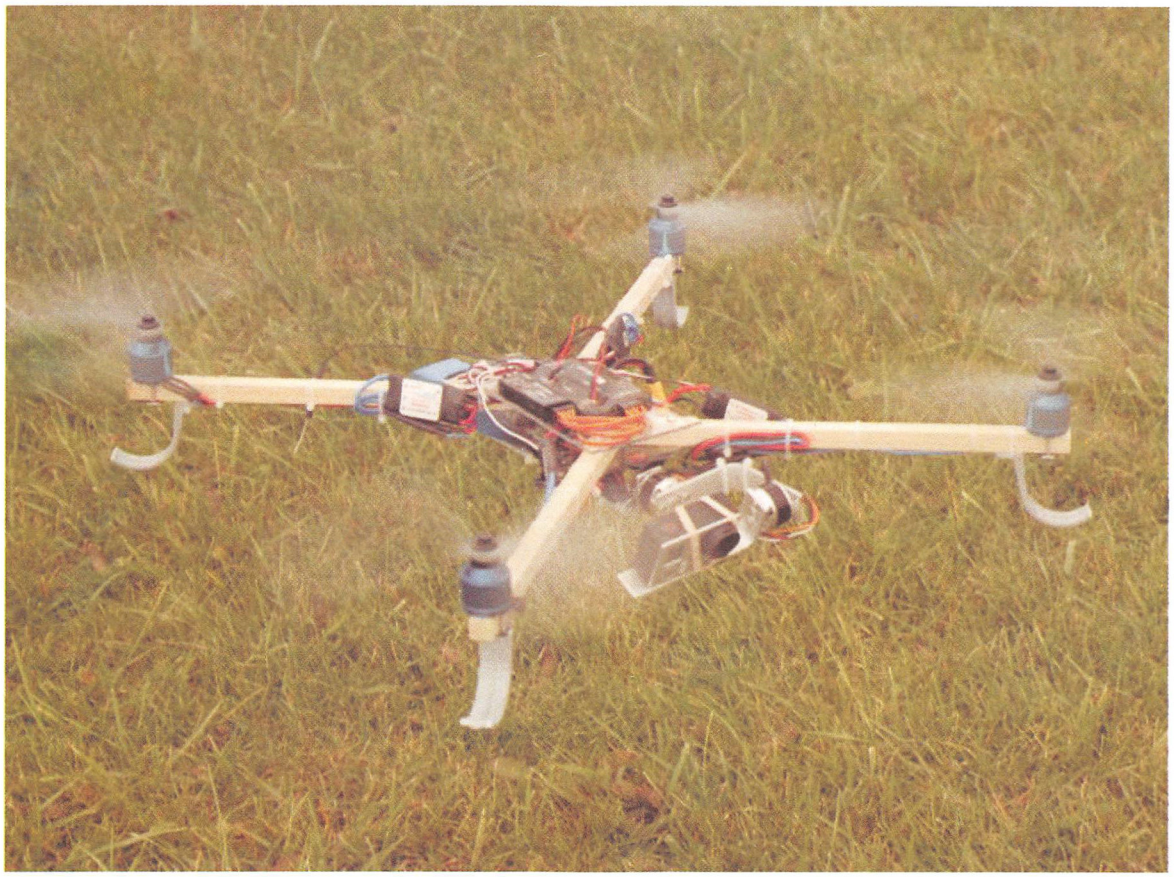
初次飞行

检查所有的无线电修正设置都位于 0（如果需要更改校正，通过 APM 进行操作，而不是通过无线电进行操作）。等风停后再开始首次飞行。

结语

不要执着于第一次就实现完美的飞行。在实现稳定飞行前，你可能需要做出多次的调整与适应。如果你在这之前从未操纵过四轴飞行器，在操作时保持平缓，因为新手很容易过度转弯。首次飞行的目标就是在 24 英寸的空中停留 1~2s，之后立刻降落，当这一操作熟练后，尝试起飞并升起到“地面效应”区域（3~4 英尺），然后再平稳降落。在不断练习中，逐渐地增加飞行的高度和滞空时间。

似乎总有一天你的飞行器会坠落，尤其当它是你的第一台多轴飞行器时。不要害怕，保持一个积极的心态，集中注意力，在每次飞行中试着吸取经验。坠落、学习、修复，之后你的技术就会得到提升，记住，你的飞行器为你带来挑战的同时也带来了乐趣。





WAVEcopter：一个防水的四轴飞行器

WAVEcopter 是一个完全防水的多桨飞行器，它大部分使用的是价格便宜且容易买到的电子零件。制造它的初衷是为拍摄冲浪视频时提供一个新的视角，或者为大型事件测量选址，再就是单纯地满足我对机器人和航空的狂热追求。

——出自《Make：44》，Alec Short



在我的飞行器从英格兰南海岸的悬崖坠落后，我便开始我的重建计划。（我认为这次失误出现在飞行员身上，因为我过度依赖 GPS 定位，并且使飞行器偏移了初始飞行点。）尽管这是一次很严重的坠毁——全速撞击到花岗岩悬崖，并从 60 英尺的高空坠落——然而所有的电子元件和相机没有受损。当然，这宣告着机身的毁灭；其他伤害仅限于螺旋桨与集线器的损坏，还有几根电机导线的断开，所以说还是可以用较少的预算进行补救的。

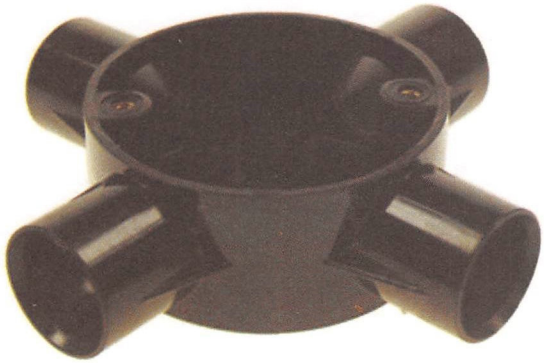
现在飞行器正处于重建的第 2 阶段，因为我正在计划将 Naza M 飞行控制器换为 ArduCopter 控制主板，这样就可以满足一些使用路径点的任务。

在飞行器的电子元件中有很多不同的设置，所以我参考了其他的主板，试图选出一个合适的类型（例如 ArduCopter）。在整个制作过程中，最重要的部分就是在保持电池续航与机身重量平衡的前提下，实现机身的防水性能。

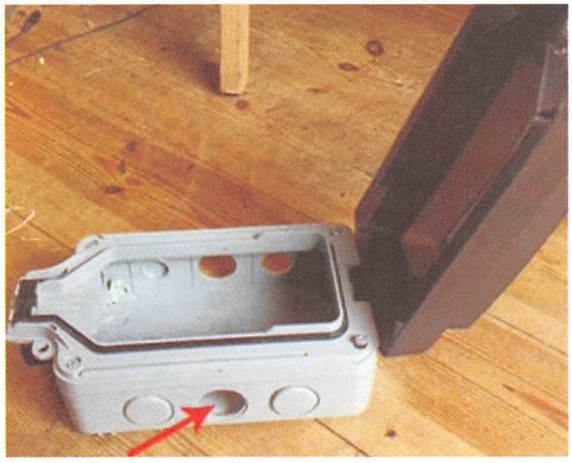
目前，无人机可以成功地飞行超过 10min，并且速度控制器或者电机没有过热的现象——这是密闭 / 防水机身首要考虑的问题。尽管我已经阅读了许多相关资料，但在这一方面我依旧是新手，所以这次成功对我来说要么就是奇迹，要么就是幸运的眷顾。当然，如果你还是不放心，也可以在机身主壳上安装散热器。

希望你享受这一过程！

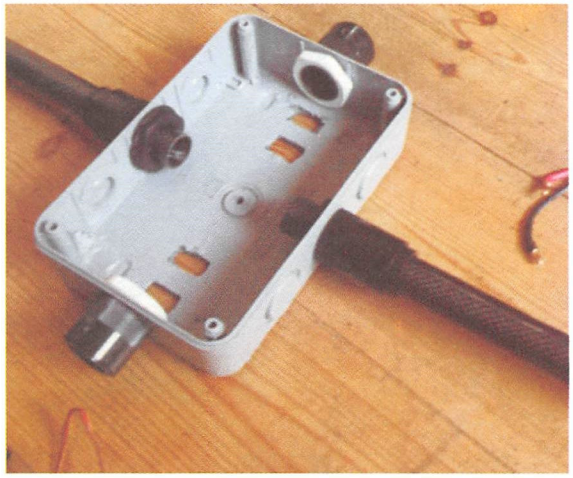
第一步：准备集线器



- 将 4 路 PVC 十字盒面朝下放入防水元件盒中。在放入前，用钢锯将其打磨好，以达到完全匹配。

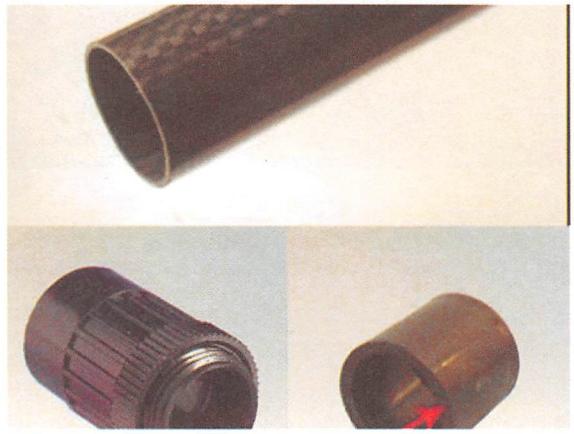


- 为了便于安装，将机身主壳的盖子打开。将中间的接线片弹出，确保 4 路十字盒的交叉位置与圆孔无缝衔接。



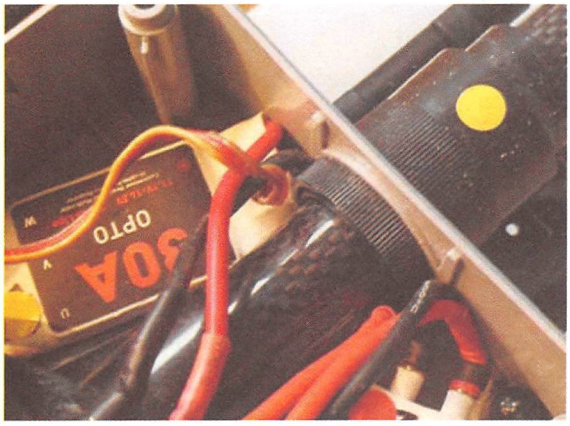
- 由图可看出我在主壳的下侧切出圆孔，以安装散热器，但是在之后的建造中我发现没有出现过热情况，所以就取消了这一改变。

第二步：准备转动臂

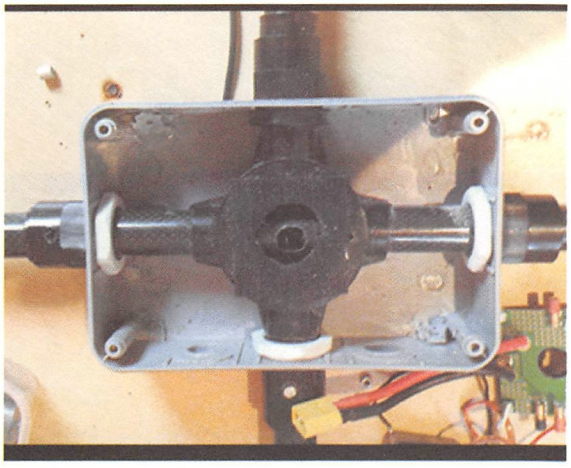


- 用钢锯将一根 1000mm 长的管均匀地锯为四段 250mm 长的短管。
- 拿出四根渐缩管，并将其内部的一圈细纹磨掉，这样整个渐缩管的内部就都光滑了。我的做法是将其拿在手中，使用带有抛光轮的 Dremel 打磨机来进行打磨。在打磨后，确保碳纤维管可以顺利穿过渐缩管。

当你发现打磨过度时，换一根新的渐缩管—因为碳纤维管与渐缩管之间不能有缝隙。

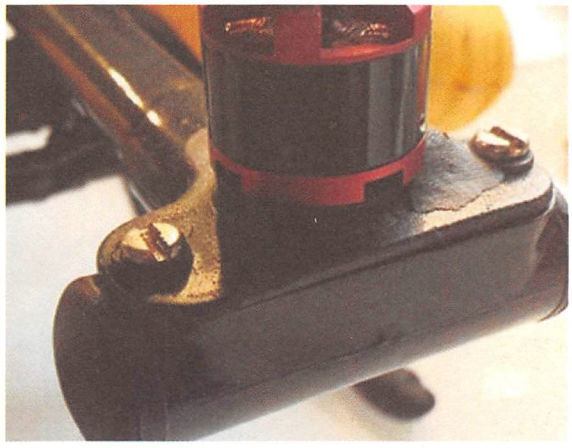


现在轻轻地将渐缩管安装到 25mm 的螺纹接口中。将密封环旋松，使螺纹部分进入主壳中，然后旋紧密封环。将上述操作分别用于四个渐缩管。



- 现在将碳纤维管推过或用橡胶锤敲过螺纹接口，直至其与主壳内的集线器相连。确保每根碳纤维管与其对面的管伸出的长度相同（误差在 1~2mm）。

第三步：制作电机底座



- 将三通接头的两端锯短，确保切口处为直角。由于电机种类众多，为了确保电机轴的正常运转，我们可能需要在三通接头的顶部粘上一个水龙头垫圈。（由于没有安装垫圈，我的一个电机就此牺牲。）垫圈同时也起到了减缓电机振动的作用。
- 提升三通接头顶部盖子螺丝的质量是很重要的，因为电机的振动或许会使螺丝松开。我使用的是 M4 机械螺栓，用尽全力将它们旋入螺口中。或许使用小一点的螺栓（M3）也可以。

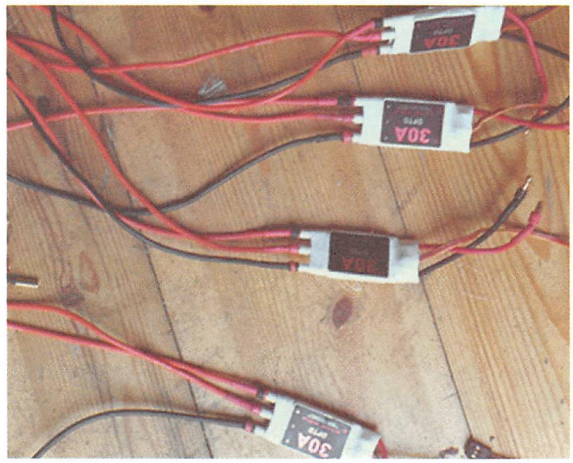


- 将橡胶密封环安装在之前的切口处。这一操作比较繁琐，但是至关重要；使用一字花螺丝刀来将密封环撬入切口处。在成功安装后，这一部分就得到了绝佳的密封体验。
- 通过轻轻敲打来将电机底座安装在支撑臂上，保证两者水平且紧密衔接。或许你发现电机底座有一些轻微的活动或者倾斜，而这让你很恐慌。其实不必这样，我们在之后的制作过程中可以用 PVC 管来改善这一问题。

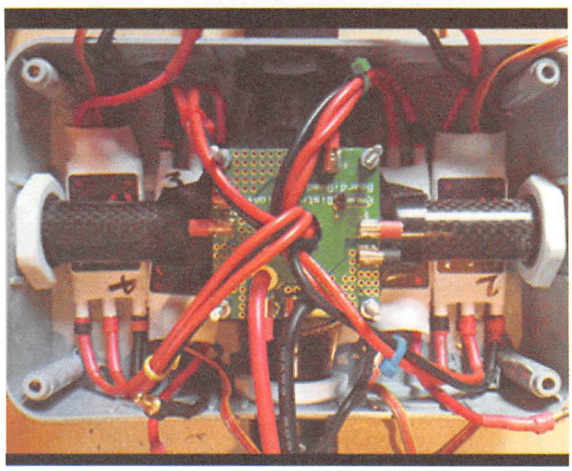


- 在三通接头上部盖子上钻一个洞，大小为正好可以使电机线穿过。对于这一部分的密封可以通过 Sugru 硅胶来修补。
- 在这些部件安装完成之后，你对自己的表现很开心——但是将它们都拆开，因为我们要安装内部的电子元件了。

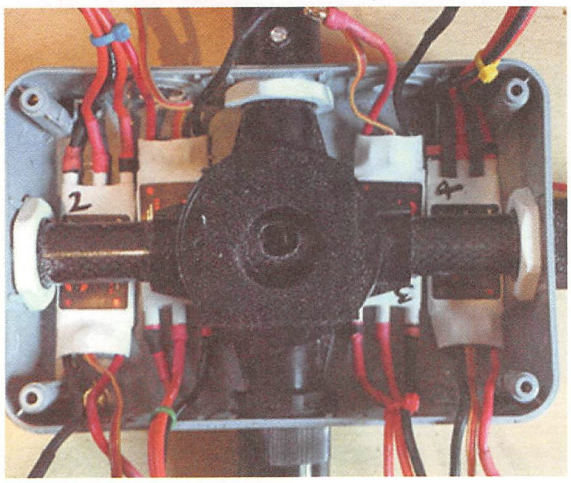
第四步：安装电源零件



- 因为 ESC、电机和飞行控制器的种类很多，而且难以逐个介绍，所以我就假定读者对如何连接这些部分有一个基本的认识。这一过程非常简单。
- 以 30A Naza ESC 的线束为例，测量出从电机底座到主壳中心的距离，之后再加上 30mm。切出合适长度的导线，并焊接上插塞接头，因为你将用它与电源分配主板连接。（你不一定要用这些主板，但是这一操作会为接下来的步骤节省很多时间。）

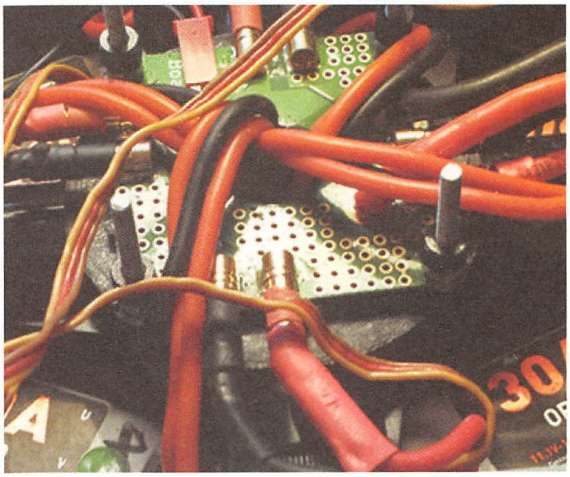


- 在本阶段，将 ESC 进行标号或者涂色将会是一个绝妙的主意。因为你将会面对许多的导线，而且在调整飞行控制器时很容易搞混。我使用一些不同颜色的贴纸来做区分。
- 重新安上支撑臂和电机底座，并在 4 路集线器的顶端钻一个 25mm 直径的洞。将导线穿过支撑臂——到每根支撑臂末端大约需要 150mm。

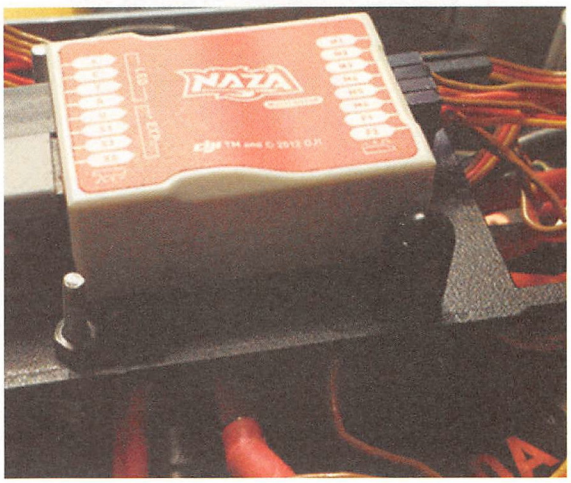


- 从电源分配主板（PDB）的下面插入四根 50mm 的 M3 机械螺栓，并在主板的正面用螺母旋紧。（这一部分将会对飞行控制器起支撑作用。）将 PDB 安装在 25mm 的孔上，安装时注意使电池接口朝向孔。我使用的是魔术贴，因为我有时可能会将主板卸下来。在安装电源主板时，顺便将导线理好，并用理线带扎好。
- 现在，你可以将所有部件安装到里面了，这样零件就可以保持整洁和安全。然后，适当地用热胶将 PDB 连接器绝缘。当正确连接所有部件后，那么是时候安装飞行控制器了。

第五步：安装飞行控制器

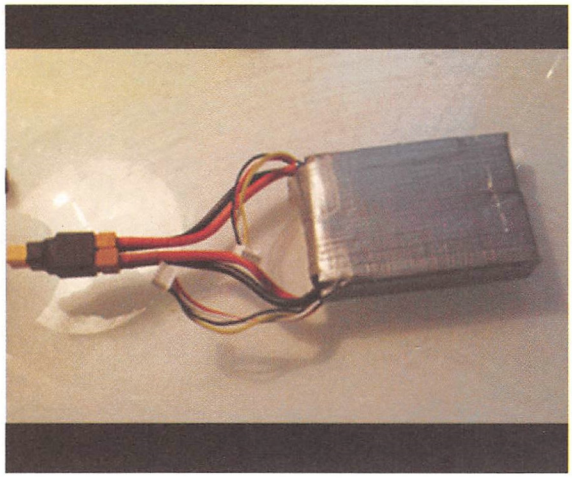


- 剪出一块可以安放飞行控制器（FC）的塑料板，并在塑料板的四个角各钻一个洞，使洞的位置与之前 PDB 中的螺栓位置可以匹配。

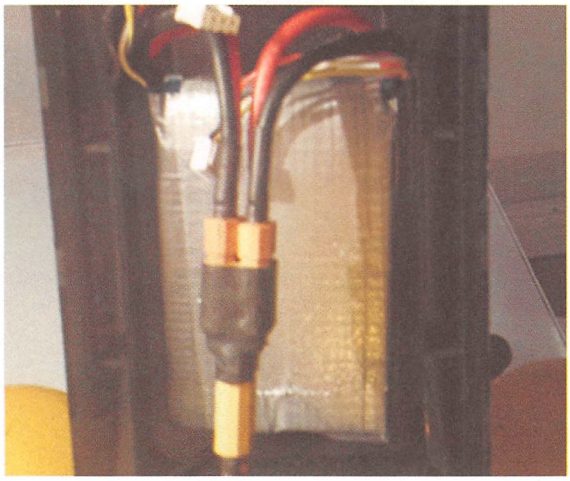


- 将 ESC 的导线接到 FC 上。在 PDB 的螺栓上安上一些 10mm 的垫片，将 FC 固定到塑料板上（我按照 DJI 的指示使用了双面胶），然后轻轻地将这一部分安装到垫片上，最后安上螺母并旋紧。

第六步：准备电池

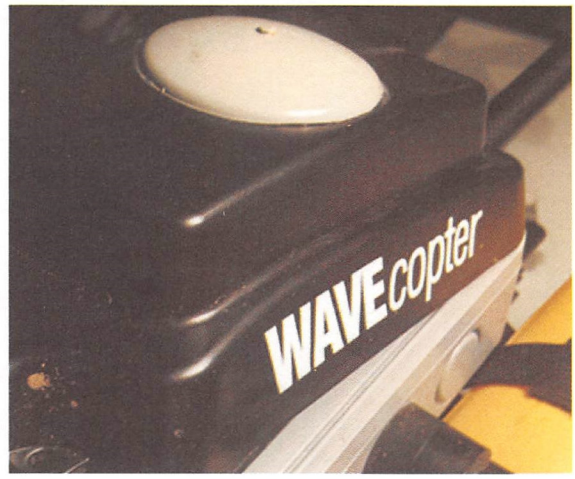


- 首先取得电池的详细规格，之后确认其是否可以安装到主壳中。电池参考数据为：102mm x 37mm x 24mm。

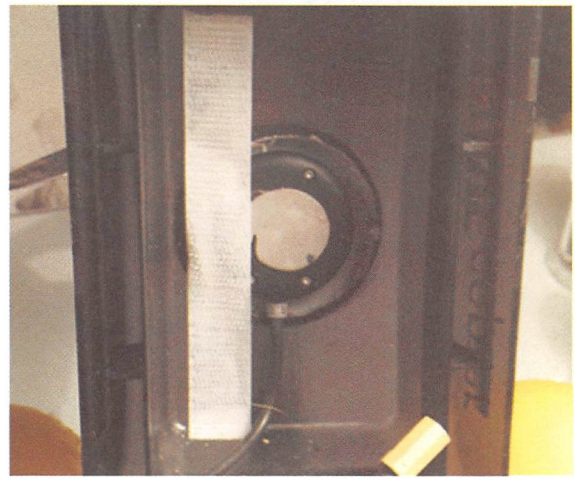


- 我用电工胶带将两块电池粘到一起，然后再用一个 XT60 的分线器来将其连接到 PDB 上。

第七步：安装 GPS 定位器

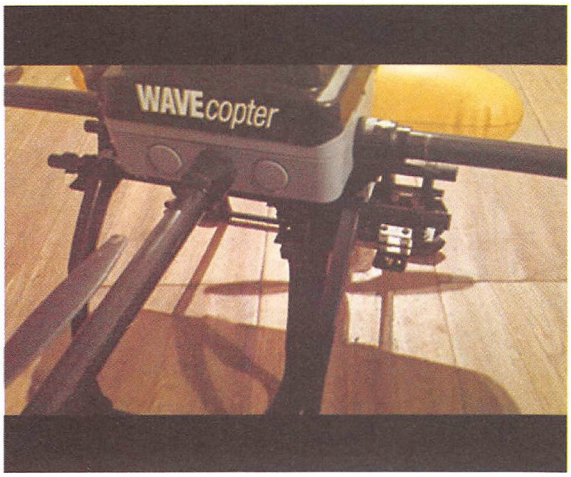


- 在盖子的顶部中央钻一个 50mm 的洞。然后用强力胶或者 PVC 管焊接技术将 63.5mm 的塑料凹片粘在上面，粘连时使用砂纸打磨边缘以便更好地粘合。

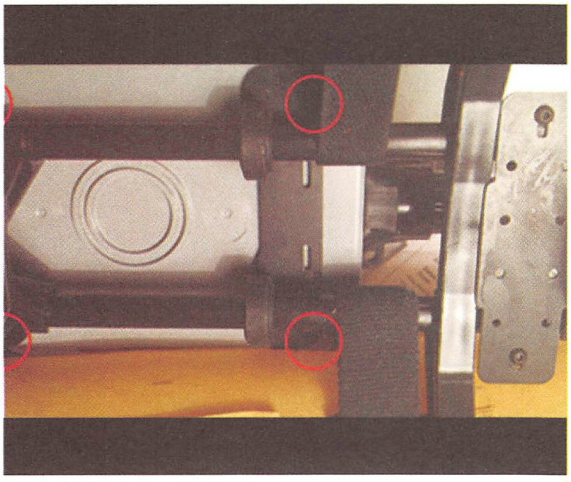


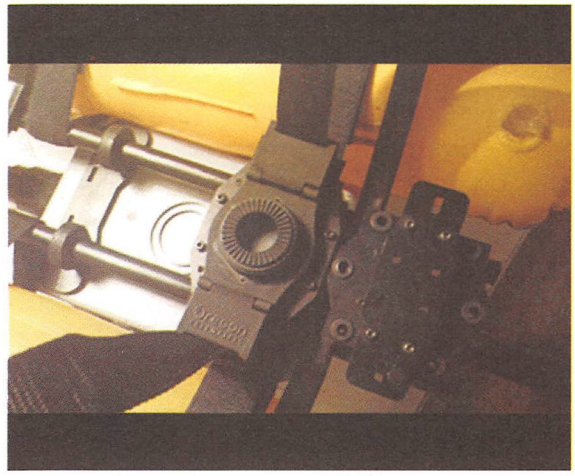
- 将 GPS 定位器安装在塑料凹片上，并用魔术贴固定，这同时也保护了电池部分。

第八步：安装起落架和浮筒



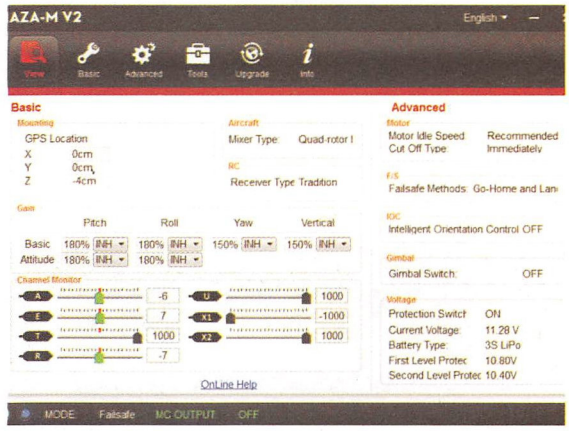
- 准备好起落架。我购买的起落装置上面有两个托盘，可供安装相机配件和 FPV 配件等。





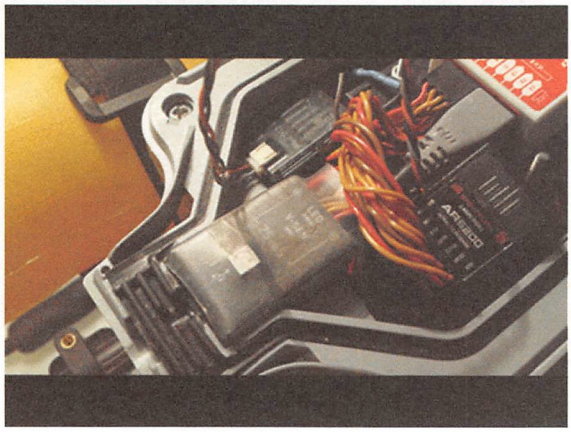
- 安装浮筒。我只是简单地用魔术贴将浮筒粘在起落架上，当然还有很多方式供你选择。

第九步：飞行检查和校准

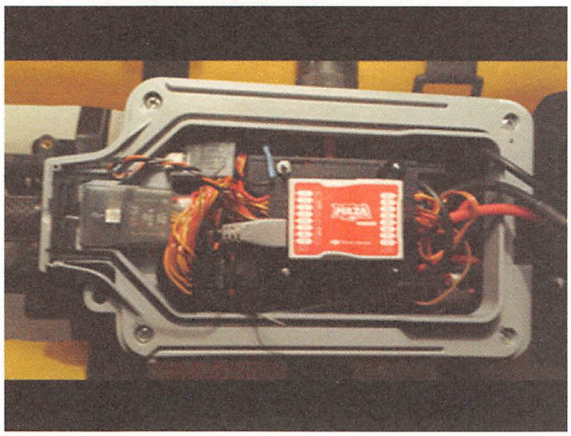


- 在这一部分，我不会讲太多的细节，因为飞行控制器的种类真的太多了。同时，你也许注意到了我只有一个六频道的 TX/RX 系统，当操作该系统时，在 Naza 上使用 GPS 和 RTH 功能的效果不会很理想。不久后，我会将它升级为 ArduCopter 飞行控制器，然后再向你们介绍运行的效果。

- 如果你使用的是 DJI Naza-M Lite 设置，那么在网上就可以找到如何通过 USB 在电脑上进行校准。



- Naza 的一个优点便是可以完美地将 VU 隐藏在主壳盖子的下面。
- 安装电机，这时不要安装螺旋桨。只要电机是无刷式的，防水与否就无所谓了。但是在每次水中飞行之后，使用硅质防锈润滑剂进行喷涂。（我听说 Liquipel 的纳米产品也很不错；如果你用过，请与我们分享一下它的效果。）



- 在安装螺旋桨之前，连接好电池，并且测试无人机上的飞行控制系统。

第十步：最终检查和密封



- 现在对所有密封部分进行二次检查。如果任何一个电机底座或者是渐缩管有晃动的情况，将其卸下来，用少量的 PVC 进行焊接固定。
- 不要对中央集线器的四周进行 PVC 焊接。因为如果（当）一个支撑臂折断时，只需拆下单个支撑臂进行修理，而不是拆下整个集线器。
- 飞行愉快！


WAVEcopter



关于无人机和遥控飞机的货箱和投放装置

在 Uplift 航空的创始人 Mark Jacobsen 展望无人机的未来时，他希望有朝一日可以通过无人机群向遭受战争的灾区投放食物和医疗用品，为此他开始了一场探索之旅。最终，固定翼 UAV 成为了最完美的答案，这种飞机总共有五种设计，其中就包括图中所示的“Waliid”。

——出自《Michael Thomas Taylor》

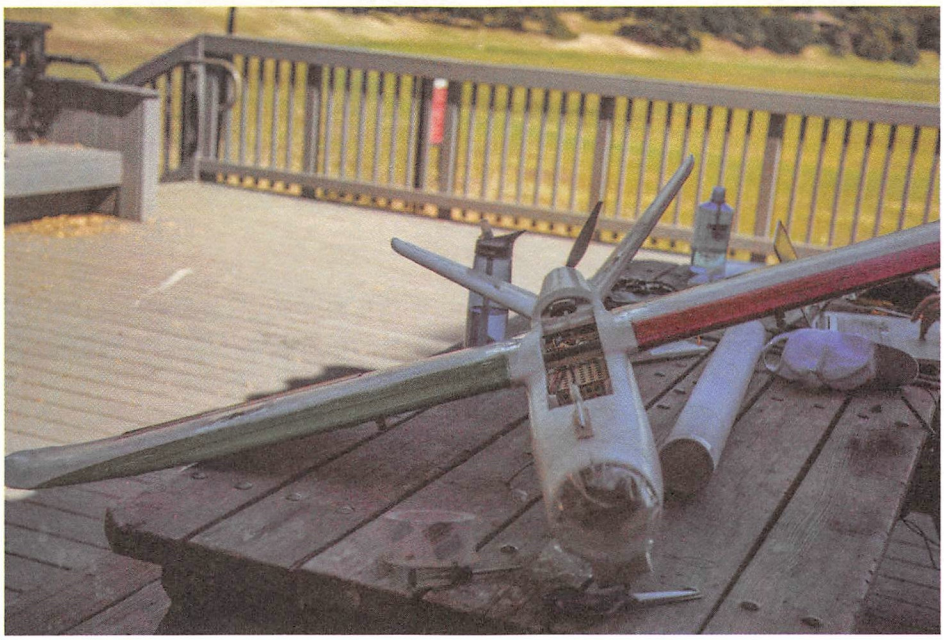


图 13-1

由 Hep Svadja 拍摄（所有 Uplift 航空照片均出自于他）

本部分内容主要针对 X-UAV Talon R/C 飞机，具体介绍了如何制作、安装货箱和投放装置。设计出自于 Uplift 航空的 Brandon Fetroe。

定制零件的文件可在 Uplift 航空的 Github 上找到。

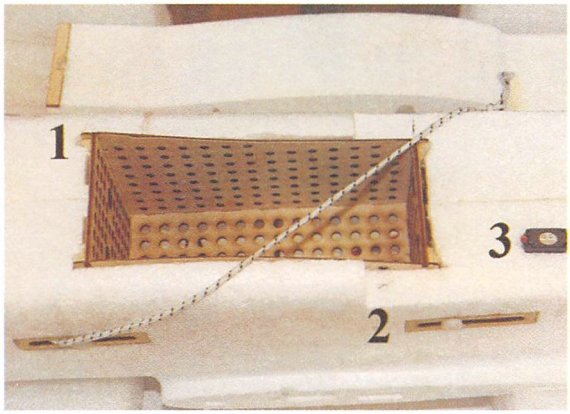


图 13-2

带有载货和投放装置机身的底部视角

零件 / 工具

- 木板，1/8 英寸薄板
- 尼龙螺栓，四根长度为 1 英寸，四根长度为 1.25 英寸，每英尺有 20 圈螺纹（8）
- 尼龙螺母，每英尺有 20 圈螺纹（8）
- 金属垫圈
- 伺服器，9g（最小尺寸）模拟金属
- 金属针 / 操纵杆
- 金属管，长度为 1/2 英寸，直径为 1/4 英寸，可以与金属针匹配
- 橡皮绳
- X-UAV Talon 组件

系统主要包括三个部分。

- 货箱为货物提供足够的空间，并且将货物安全地保存在 X-UAV Talon 的机身中。货箱位于机身底部的凹槽处。
- 货箱由粘在机身侧面的四个支架支撑，四根尼龙螺钉在外部起固定作用。
- 投放装置本质上是一个通过拉伸机身侧面的金属针而进行收放的伺服器。货箱通过一个橡皮绳与机身侧面的金属针相连。

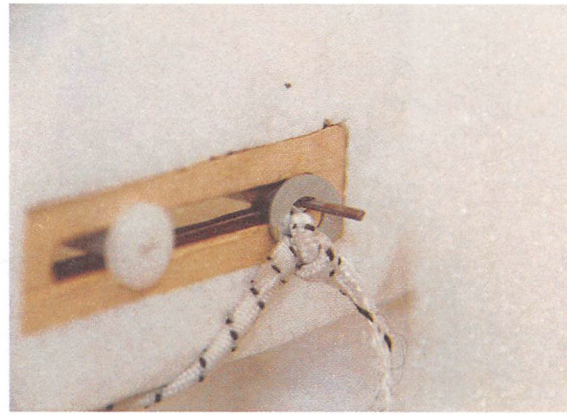


图 13-3

橡皮绳与投放装置的金属针相连，伺服器通过收回金属针来打开投放装置

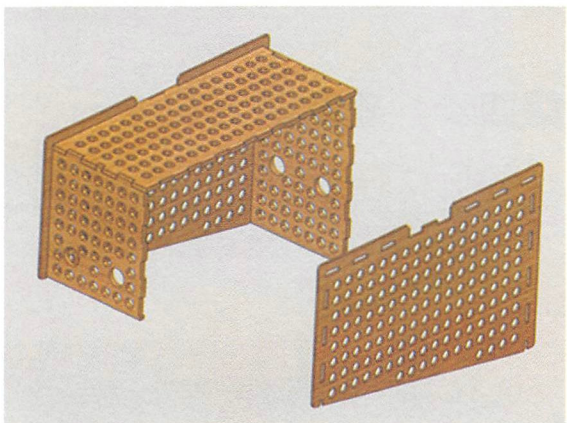
货物通过一根橡皮绳被保存在机身内部，橡皮绳的一端系在机身的鼻部，绕过货箱后被固定在对立面的金属针上。当伺服器收回金属针时，橡皮绳将会松开，进而货物就会被投放。

在 Git 仓库中的文件里，大多数定制组件都是采用激光技术在胶合板上切割 1/8 英寸或 1/16 英寸的圆孔。即使没有激光切割器，一些工作也可以使用常见的工具完成，只不过省略了切割圆孔这一步（这一步只是为了减轻重量）。在仓库中也可以完成 SolidWorks 部分的绘制工作。

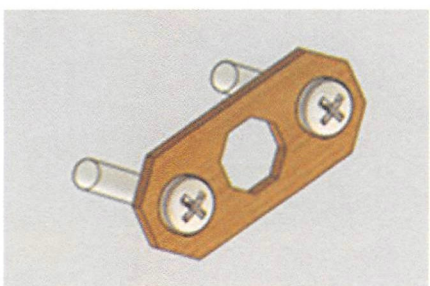
第一步：建造货箱

1. 货箱在机身中为货物提供了储存的空间，其设计存放的规格为可存放 3 英寸 x 7.5 英寸 x 6 英寸的纸箱。

2. 将前面、后面、上面和侧面的木板用木胶或者强力胶粘起来，如图所示，留出一个开放面。较高的一面面向机头，同时称这一面为箱子的“前面”。

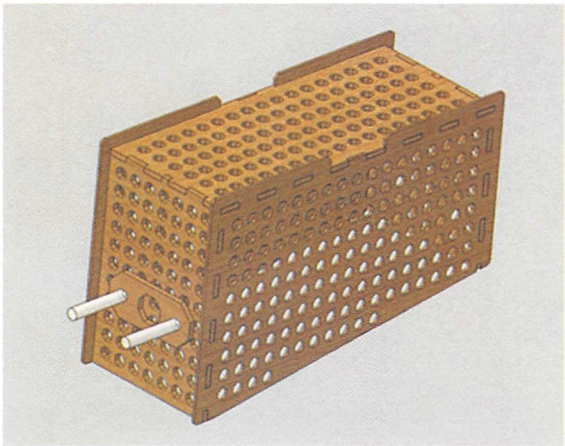


3. 将螺栓锚板安装到盒子的前部和后部。螺栓锚板的孔必须与盒子前部较大的孔对齐，其作用是为尼龙螺栓 1/4 英寸的部分充当安装点，并且保证尼龙螺栓可以将货箱安装到支架上。



4. 如上图所示，将螺栓及锚板垂直安装到货箱上。千万不要使用胶水粘上——在货箱被安装到机身内部之后，螺栓还有其他作用。

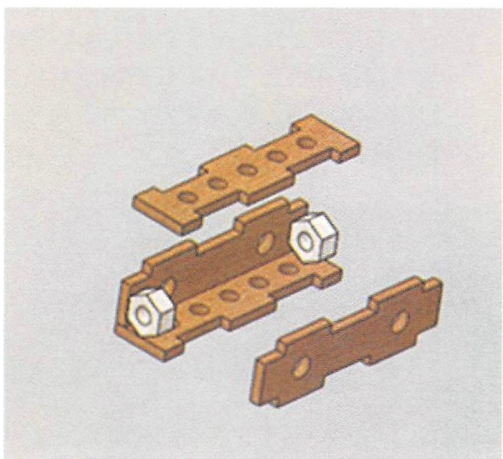
5. 将第二块螺栓锚板安装到货箱的后部。



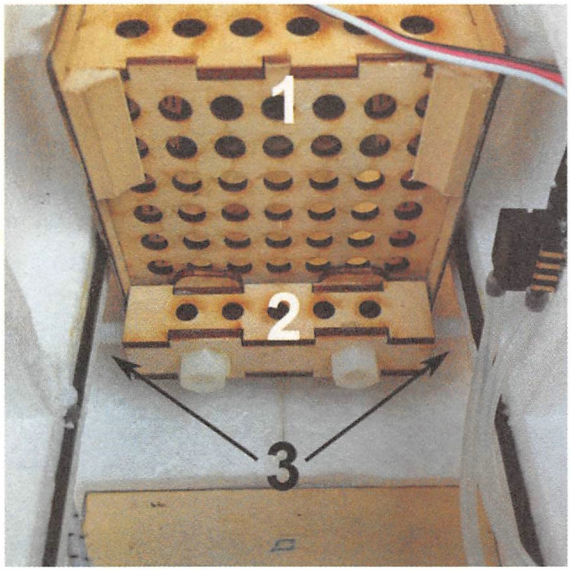
6. （可选步骤）用巴尔萨木将货箱的边缘处加固。

第二步：安装螺栓配件

1. 货箱通过外部的尼龙螺栓被固定在机身上。为了给外部螺栓提供相应的安装点，我们需要在货箱的后部安装螺栓配件。



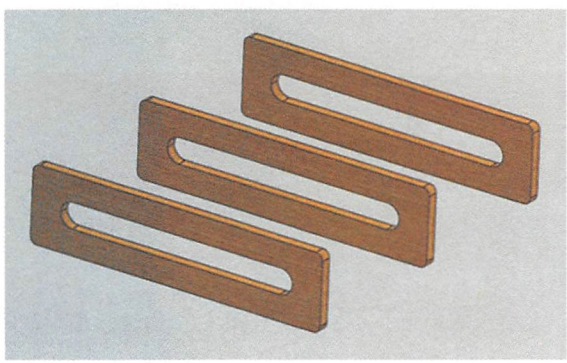
2. 货箱（1）与螺栓配件（2）相连，螺栓配件再被外部的螺栓（3）固定。



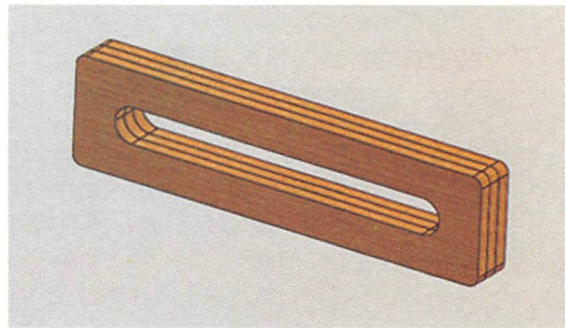
3. 每个螺栓配件中有两个与外部螺栓固定的尼龙螺母，这样就可以保证货箱的稳定性。使用强力胶将三片木板粘合，然后将螺母粘到两侧，最后粘上顶部的木片，最终货箱呈长方体形状。

第三步：制作固定架

1. 这些支架将会为尼龙螺栓提供插入的空间。其结构长度将会为货箱在机身中前后移动时提供灵活性。每个支架长为 3 英寸，高为 3/4 英寸。

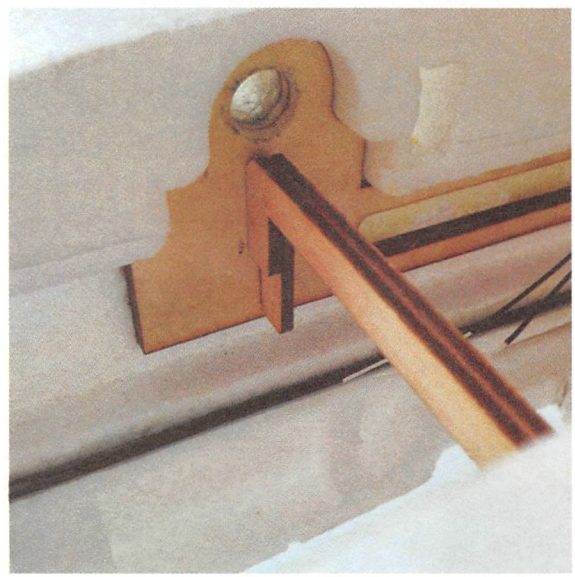


2. 将三片如图所示（激光）切割的胶合板粘好。

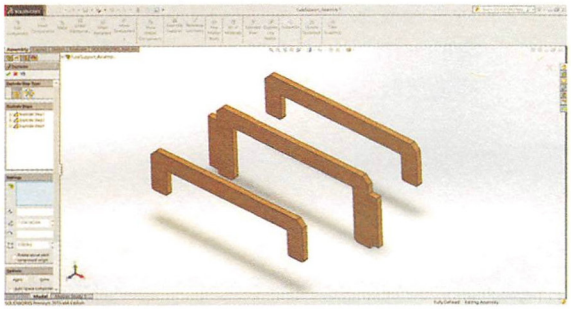


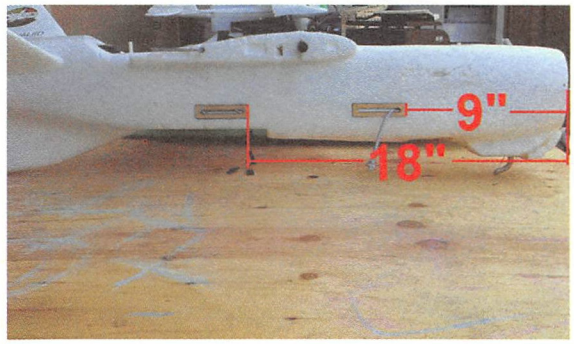
第四步：安装前部支柱

1. 最后一个定制部分就是为飞机中部位置设计的前部支柱。我们将用新型的支柱替换原来的支柱，这是为了给货箱提供足够的空间。



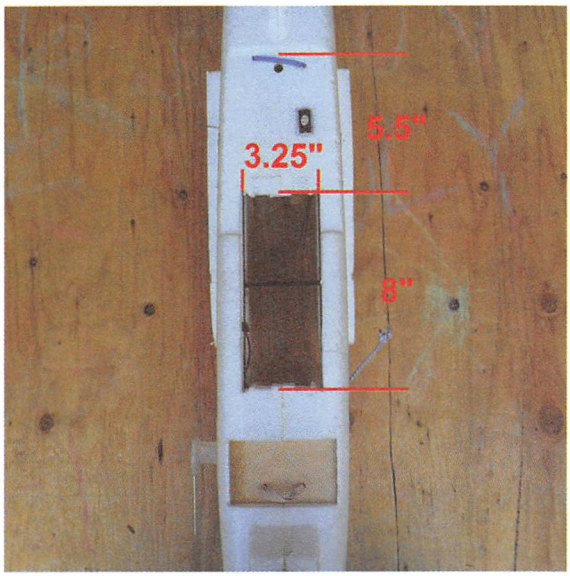
2. 将主件（位于图中间）和两个支撑片（位于图两侧）粘到一起。将其安装到原来支柱的位置，使主件插入原卡槽位。





第五步：修改机身

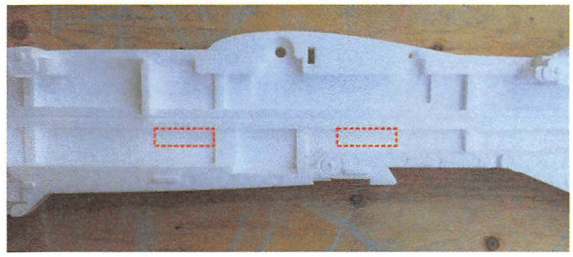
1. 在机身下方切出货箱的位置，切割时注意沿着中心线，并距机体后唇5.5英寸。同时，注意前后移动，使其位于重心位置。切割过程中，确保为货箱的螺栓锚板和边缘位置留出足够的地方。



2. 然后切割出固定架的位置。在这一步中，注意固定架的位置与货箱安装后的位置在同一水平面上。

3. 为了保证精确度，先将货箱安装到机身内，并用记号笔做出标记，然后再进行切割。（参考第一步和第二步。）

4. 在机身侧面切出两个3英寸 x 3/4英寸的矩形孔洞，用于安放固定架。矩形孔洞的位置取决于货箱在机身中的位置。



5. 如果你在修改一个新的机身，顶部安装支架的孔洞要与机身对齐。

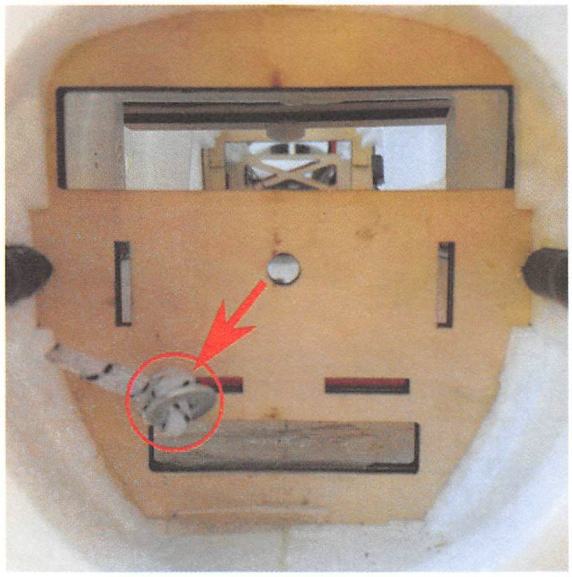
第六步：安装前部支柱

将新的前部支柱安装到木质框架中。如果机身还未组装，只需在组装机身中心部分时，将原来的支架换为新的支架即可；如果是对原机身进行修改，则将“X”形支架拆去，并粘上第四步中的外侧支撑片。

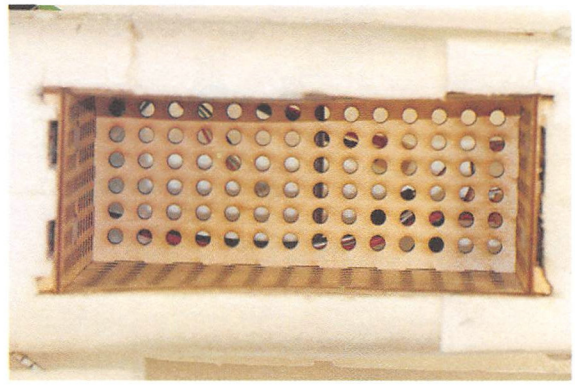


第七步：安装橡皮绳和货箱

1. 将橡皮绳系在机身的前甲板上。在开始时取一条较长的绳子，将其一端穿过前置固定架中的一个孔，然后将绳子从机身下部绕过，穿到后置固定架的另一个孔，并在绳子末端系上一个金属垫圈以固定。参考图 13-2。



2. 将货箱安装到之前切好的位置中，并将较高的一侧面向机身前方。保证货箱与机身完全接触。

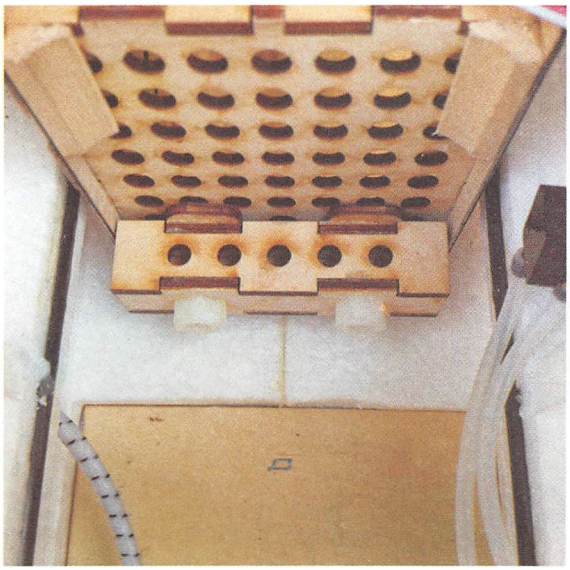


第八步：将货箱固定

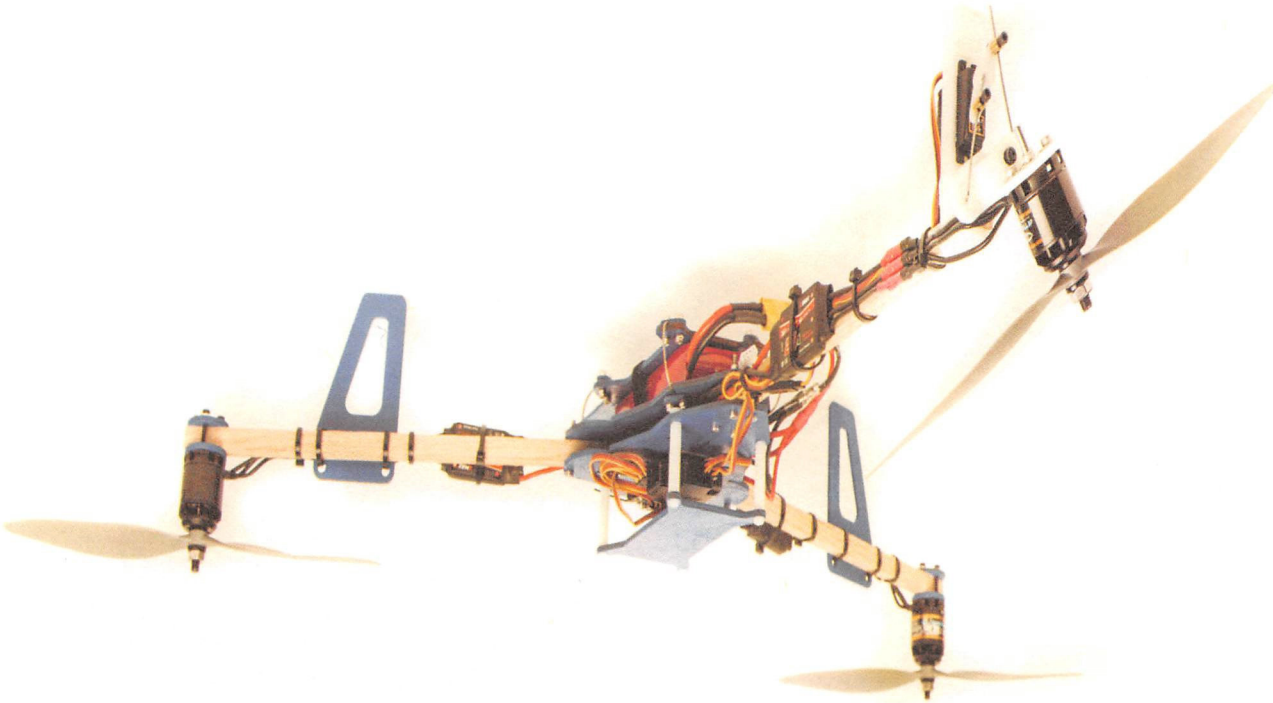
1. 在货箱被安入到机身中后，分别在货箱前后螺栓锚板上各安装两根 1 英寸的尼龙螺栓。



2. 注意：图中所示为老式螺栓锚板，最新版本的螺栓锚板请参考第一步中所示的图片。



3. 将螺栓配件安装到货箱上，并用螺母旋紧。使用四根 1.25 英寸的尼龙螺栓在两侧固定架上将货箱固定（参考第二步）。该操作进行四次：两侧前后各一次。



仅供非商业用途或交流学习使用

建造你的第一架三轴飞行器

三轴飞行器在飞行时更平稳，并且录制视频的性能也在四轴飞行器之上。建造一架 Maker Hangar 三轴飞行器来体验一下吧！

——出自《Make：44》，Lucas Weakly

相比之下，四轴飞行器更易建造，然而三轴飞行器能带来更多有趣的飞行体验——尤其是在航拍方面。2010 年，受 David Windestal 用 GoPro 录制的航拍视频影响，我建造了属于我自己的第一架三轴飞行器。当时我并没有使用它飞行很多次，但是我学到了很多知识。在这之后，我又陆续建造了很多架飞行器，随着经验的累积，我研究出了一种人人都可以负担得起的飞行器——Maker Hangar 三轴飞行器。

为什么要使用三轴飞行器

三轴飞行器的电机通常以 120° 分散开，而四轴飞行器的是以 90° 分散开。这就意味着三轴飞行器更加方便录像，因为在使用三轴飞行器时，即使将相机紧紧安装在机身下部，也不会有螺旋桨出现在镜头中。除此之外，四轴飞行器必须通过选螺旋桨来提供升力和保持机身平衡，而三轴飞行器所有螺旋桨的转向相同，这是因为它有一个秘密武器——偏航伺服——可以为尾部螺旋桨提供反抗转矩。

三轴飞行器的飞行方式也不同。通过其专业的偏航（转向）电机，三轴飞行器的飞行动作更加自然、流畅——像航空飞机一样转弯、倾斜和偏航，但是仍可以像直升机一样悬空。对比起来，四轴飞行器就显得很机械化，因为控制主板需要进行精确的计算，以保证四个电机相互协调，并在转弯时保持机身的平衡。如果放开操纵杆，四轴飞行器会突然停住；这一动作将会很明显地影响视频质量。换作三轴飞行器，其倾斜的尾部电机会缓冲片刻，然后平稳地回到悬空姿势；在视频中呈现出一个慢动作的镜头，仿佛是有人在手动操作相机。

总之，三轴飞行器可以带来无穷的乐趣，尤其是可以做出一些特技动作。倾斜电机还会为你带来更快的偏航速度——也就是转弯的速度更快。

一架给 Maker 的三轴飞行器

Maker Hanger 三轴飞行器由木材制成——易操作、钻孔与切割，纯天然避振器，航拍小能手。该型号的机身很大，所以有足够的空间来安放较大的控制主板、视频传送器、投放装置以及任何你能想到的配件。同时，我们将前部支撑臂的角度改为 150°，这样飞行器的灵敏度就得以提高。

安装包中包括 3D 打印制作的尾部配件和所有你需要的五金工具。此外，再加一根钢索，即使螺旋桨不平衡，钢索也能消除机身振动对相机的影响。碳纤维铰链可以为尾部电机和机身提供坚固、顺滑的连接。

就像大多数三轴飞行器一样，前端的两个支撑臂可以在飞行时打开，在存放时折叠。

零件

- Maker Hangar 三轴飞行器装配包——85 美元。

安装包中包括：

- （激光切割）胶合板制机身零件（可从 Dropbox 下载相关文件）
- 3D 打印的尾部配件（可从 Dropbox 下载相关文件）

仅供非商业用途或交流学习使用

- 碳纤维铰链及其零件
- 橡木方钉，7/16 英寸 x 7/16 英寸 x 12 英寸（3）用于支撑臂
- 不锈钢螺栓，M3：25mm（8），6mm（4），10mm（16），22mm（8）
- 防松螺母，M3（25）
- 垫圈，M3（16），M4（2）
- 尼龙螺栓，6-32x3/8 英寸（4）
- 尼龙螺母，6-32（4）
- 压铆螺柱，6-32x1-1/2 英寸（4）
- 扎带（20）
- 推杆，2-1/2 英寸 x 0.047 英寸（2）
- 推杆连接器（2）
- 魔术贴（2）
- 钢索，3 英寸长（4）

电子元件（不包含）——在安装包的网页上查询完整推荐。

- 飞行控制主板（参考第 14 章的第十二步）
- 遥控发送器 / 接收器
- 电机，无刷先驱，900kV(3)Emax GT2215/12
- 电子速度控制器（ESC），20A（3）Emax Simon
- 螺旋桨，10x4.7（3）
- 锂电池，3300mAh（2）
- 伺服器、微处理器
- 伺服延长线，6 英寸
- 导线，16 标准尺寸
- 热缩管
- 伺服电缆，双头
- JST 连接器（可选）

工具

- 电钻和钻头
- 尖嘴钳
- 侧剪钳
- 手钳
- 热胶枪
- 氰基丙烯酸盐（CA）黏合剂
- 螺丝刀
- 六角螺丝刀套装
- 可调扳手
- 砂纸
- 锉刀
- 刻刀
- 电烙铁和焊锡
- 热风枪或者电吹风
- 帮手（可选）

对于任何一个想要走进多轴飞行器或航拍世界的人，这都是一个完美的安装包。当然，你也可以全程自己动手制作：下载 PDF 格式的计划书、激光切割的设计图、3D 打印文件、飞行控制设置，最后在 Dropbox 上观看安装视频。

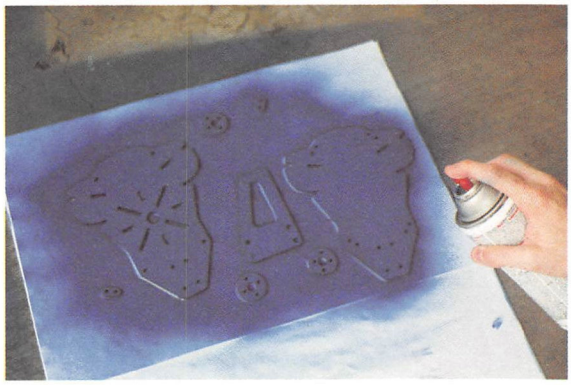
规格

- 飞行时间：12min
- 机身重量：325g
- 飞行重量：1kg
- 与 8 英寸 ~10 英寸螺旋桨兼容
- 钢索减振器
- 22mm 电机底座

仅供非商业用途或交流学习使用

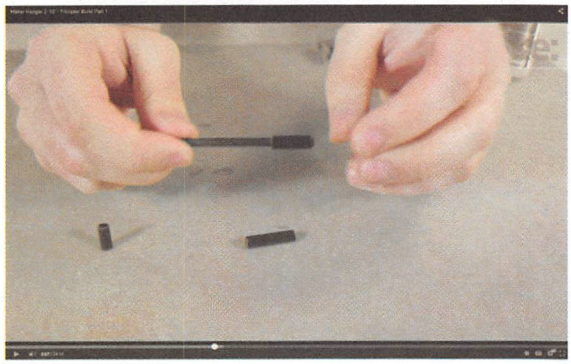
第一步：打磨和喷漆

将木制零件上的所有毛刺和碎屑磨平。依个人爱好，可用亮色对其进行喷涂。

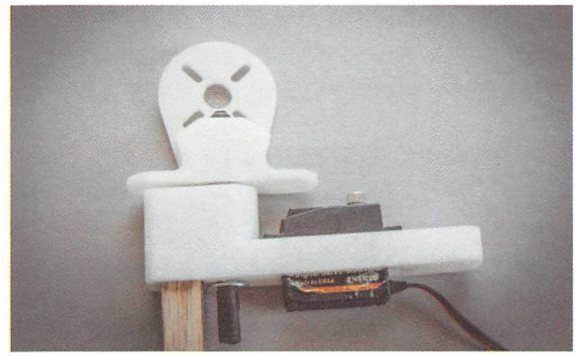


第二步：安装铰链式机尾

在制作铰链时，首先将 2-1/2 英寸碳棒平齐插入 3/4 英寸碳管中，并用 CA 胶黏合，然后将这一端热黏合到 3D 打印的电机底座上。同样，将 1 英寸碳管热粘合到 3D 打印的机尾组件中。



现在将它们连接：将一个 M4 垫圈滑入碳棒，然后再将碳棒穿过机尾组件，之后再安装一个垫圈。最后，将 1/2 英寸碳管粘到碳棒的另一端，进而得到如下图的结构。



将伺服器热黏合到机尾组件上，然后在（伺服器）微处理器上安装两个带有 1/16 英寸的洞的“简易连接器”。你也可以现在就将木质支撑臂与机尾组件黏合。



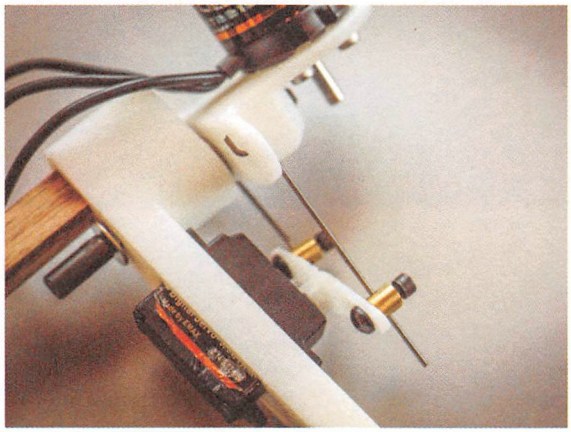
第三步：安装铰链式机尾（续）

用 M3 垫圈和螺栓将电机固定到电机底座上。

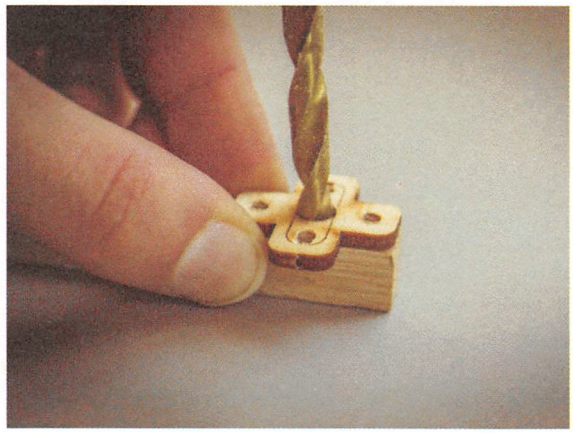


仅供非商业用途或交流学习使用

最后，安装伺服器联动装置。用钳子将推杆的一端弯成“Z”形。将弯曲的一端挂在电机底座上，然后将直的一端插到微处理器上的简易连接器上。



注意，电机模板有两种不同的样式；每一个模板在每根支撑臂上只使用一次，这样在安装电机后可以保持对称。



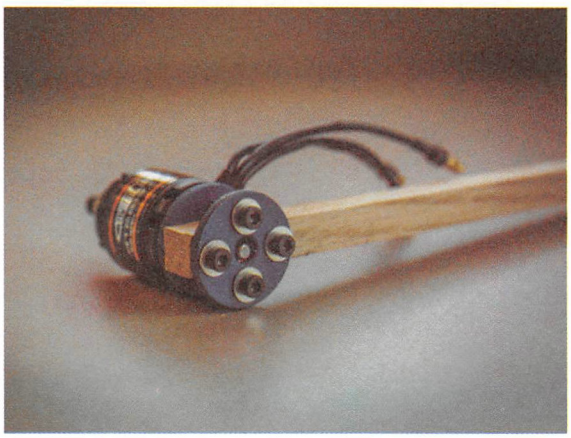
第四步：安装前部支撑臂

用提供的样板在前部支撑臂钻孔：一端用于安装电机底座，另一端用于安装供折叠的旋转螺栓。



第五步：安装前部支撑臂（续）

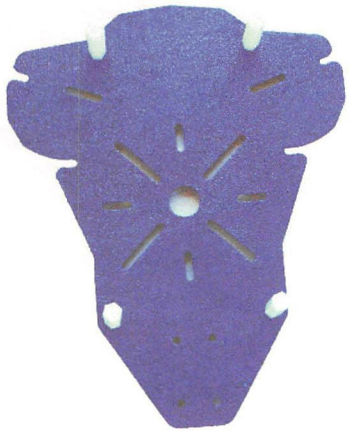
然后使用四个圆形胶合板将电机固定在底座上——带有大孔的圆片挨着电机——然后用 M3x22mm 螺栓与垫片固定。



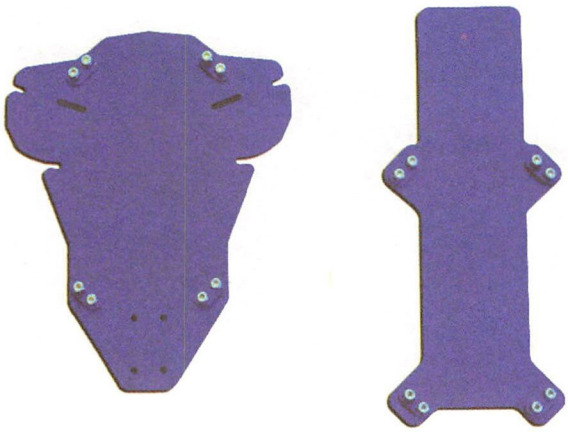
仅供非商业用途或交流学习使用

第六步：准备机身甲板

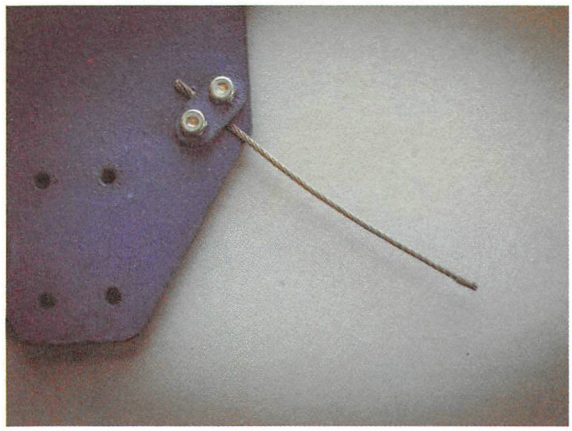
将压铆螺柱安装在上部机身甲板上，但是暂时不要安装小型顶部甲板。



使用 M3x10mm 螺栓与螺母，将四个小胶合板支架安装到底部甲板上，再将另外四个小胶合板支架安装到相机 / 电池托盘上。

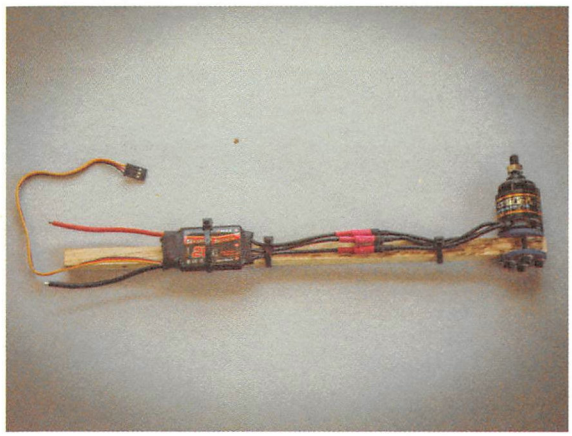


托盘是一个可选项目（你也可以直接用魔术贴将电源粘在机身顶部），在摄影时，我极力推荐进行这一步，因为通过连接钢索可以极大限度地降低振动对画面的影响。将四根钢索固定在底部甲板的支架上，但是暂时不要将其连接到托盘上。



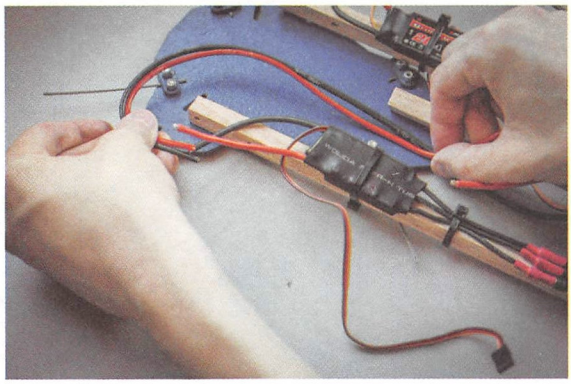
第七步：安装 ESC

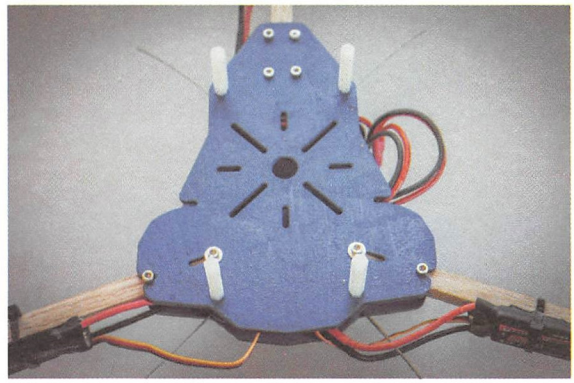
将三个 ESC 分别与电机连接，并用扎带将其固定在支撑臂上。



将三个支撑臂放到相应的折叠位置，然后量出足够长度的导线，以确保电源及其他所有导线可以延展到机身的背部。将延长线焊接，并用热缩管进行绝缘处理。剥去自由一端的绝缘皮，并焊接到电源控制器上。

仅供非商业用途或交流学习使用

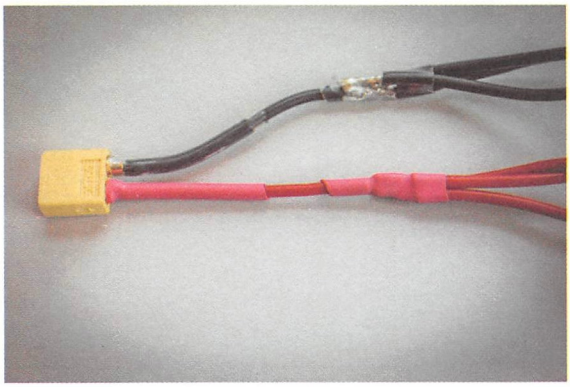




测试折叠装置，并进行适当调节松紧，直至支撑臂可以顺滑回收和稳定张开并固定。



如果你想启动 FPV（第一人称视角）并通过三轴飞行器来观看实时视频，那么现在就是安装 JST 连接器（可选项目）的时候了。可通过 Maker Hangar 第一季的视频了解更多有关以电池、FPV 和其他飞行组建的知识。

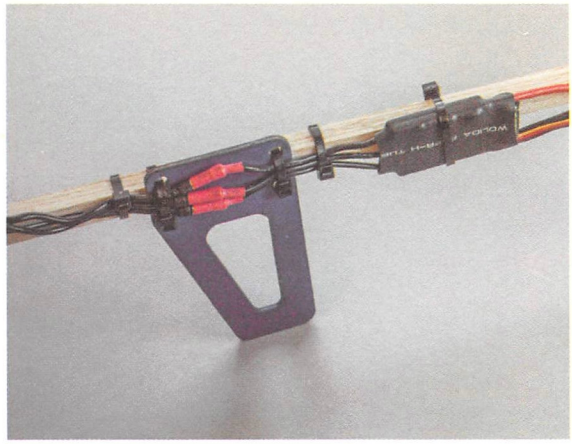


第八步：安装支撑臂

穿过靠外的安装孔，用 M3x25mm 螺栓和螺母将两个前部支撑臂固定在机身底部甲板上。将上部甲板安放在上面，然后再用两个螺栓穿过锁槽及靠内部的孔，用垫圈和防松螺母固定。最后，用四根螺栓将尾部支撑臂固定在上下甲板之间。

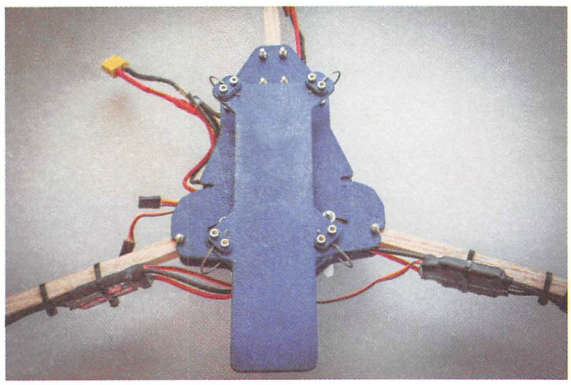
第九步：安装起落架

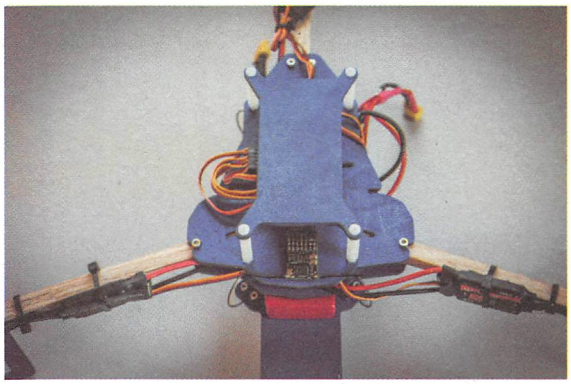
用扎带将两个胶合板降落支架分别安装在两个前部支撑臂上。



第十步：悬空相机托盘

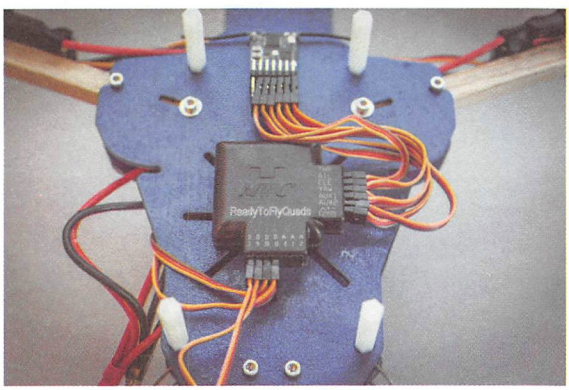
将钢索的另一端固定到相机托盘的支架上，确保相机平台向前，并且螺栓头的一面向外；稍后你还需要对托盘的水平度进行调整。最后用魔术贴将相机粘在托盘上。





第十一步：安装接收器和飞行控制器

将飞行控制器安装到机身上部甲板上，你可以通过热黏合、双面胶或者用螺栓将其固定在组装槽上。（我们使用的是 Flip 1.5MWC 控制器，你可以通过 Maker Hangar 项目页面下载相关设置。）



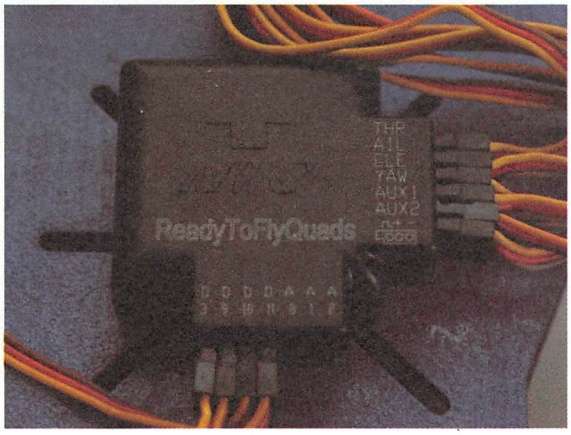
将遥控接收器与发送器进行绑定（观看 Maker Hanger 第一季，第 12 集），然后通过插拔 ESC 接头来设置节流范围，相应地，再去设置接收器的节流接口（第二季，第 4 集）。将接收器安装好并与飞行控制器连接，并将偏航伺服器置于中间。

最后，将顶部甲板固定到压铆螺柱上，以保护电子元件，这样，你的 Maker Hangar 三轴飞行器就完成了！



第十二步：关于飞行控制器

飞行控制器将发送的信号转送至电机，进而调节飞行器的运行。它同时也通过平衡仪和加速器来读取机身的位置及状况，并且做出微调来改变电机转速，从而消除风力、扭转力以及其他试图使飞行器坠毁的因素。



以下是我推荐的可以在 Maker Hangar 三轴飞行器上使用的主板。

OpenPilot CC3D

最完美的飞行体验，容易设置，但是调整过程很费时间。

HobbyKing KK2

飞行体验一般，可通过机载显示器快速调节，适用于新手。

ArduPilot APM 2.6

功能最强大，并且价格昂贵；可编程路径点，附带 GPS、指南针、气压计。

Flip 1.5 Multi Wii Controller（MWC）

小巧简洁，价格亲民，同时性能比较突出；可选择安装指南针与气压计。

DIY无人机与四轴飞行器

爱上无人机：

原理结构、航拍操控与DIY实例精汇

无人机、四轴飞行器、无人飞行器，无论我们怎么称呼它，这种远程控制的飞行器已经改变了我们对世界的看法，革新了农作物的管理方法，也为运输和航拍提供了更多的可能性。本书主要剖析了无人机的工作原理以及无人机项目制作方法，这些内容均来自于该领域的一些知名开发者。

远程控制的飞行器属于高科技产品，它几乎全方位地改变了我们的生活。为了充分使用无人机，我们至少需要了解：空气动力学、无线遥测、电子技术、编程、地图阅读、视频传输以及三维建模。如果没有掌握这些技能，你很难意识到无人机的潜力。

本书涵盖以下内容：

- 大量关于无人机的技术文章，鼓励读者拓展“创造性思维”，以此为无人机拓展更多的功能，例如运送医疗物资。
- 讲解无人机的创新应用模式，例如如何为一些地标建筑进行三维建模。
- 带领读者从零开始，按照相应的步骤制作不同种类的无人机。

跟随本书一起自由飞翔吧！

封面设计：
Ryland Grudzinski（英文版）
马冬燕 （中文版）

Make:
makezine.com

ISBN 978-7-115-45832-2

O'Reilly Media, Inc.授权人民邮电出版社出版

此简体中文版仅限于中国大陆（不包含中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区）销售发行
This Authorized Edition for sale only in the territory of People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan)

分类建议：电子技术/计算机硬件

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

ISBN 978-7-115-45832-2

定价：59.00 元